Environnement Canada
Conservation et Protection

Environment Canada
Conservation and Protection

collection
ENVIROGUIDE

LE SULFATE DE ZINC

Canada

mai 1985

86-05661/

COLLECTION "ENVIROGUIDE"

La collection "Enviroguide" est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE SULFATE DE ZINC

CONSERVATION
ET PROTECTION

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
MAI 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par la Section des publications
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Zinc Sulphate
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986
N° de cat. En 48-10/40-1986F
ISBN 0-662-93803-8
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection "Enviroguide" a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. illon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	IX
	Définitions	XI
	Sigles	XIII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	3
3	**Production, transport et commerce**	7
3.1	Qualités et titres	7
3.2	Fabricants situés au Canada	7
3.3	Autres fournisseurs	7
3.4	Centres de production et transport	8
3.5	Volume de production	8
3.6	Fabrication du sulfate de zinc	8
3.6.1	Procédé de fabrication	8
3.7	Principales utilisations au Canada	8
3.8	Principaux acheteurs au Canada	9
4	**Manutention du produit et compatibilité des matériaux**	10
4.1	Engins, récipients et emballages de transport	10
4.1.1	Information générale	10
4.1.2	Transport sous emballage	10
4.2	Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement	11
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	13
5	**Fuite et migration du produit**	16
5.1	Aperçu général	16
5.2	Nomogrammes des fuites	16
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	16
5.4	Comportement dans l'eau	16
5.4.1	Introduction	16
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau	17
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	18
5.4.2.2	Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau	26
5.4.3	Exemples de calcul	26
5.4.3.1	Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	26
5.4.3.2	Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau	29
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	29
5.5.1	Introduction	29
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	29
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	31
5.5.4	Types de sol	31
5.5.5	Nomogrammes de la migration	32
5.5.6	Exemple de calcul	32

6	**Protection de l'environnement**	37
6.1	Limites maximales admissibles	37
6.1.1	Qualité de l'eau	37
6.1.1.1	Situation au Canada	37
6.1.1.2	Situation dans d'autres pays	38
6.1.2	Qualité de l'air	38
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	38
6.2.1	Situation au Canada	38
6.2.2	Situation dans d'autres pays	38
6.2.3	Mesures de la toxicité	38
6.2.3.1	Toxicité en eau douce	38
6.2.3.2	Toxicité en eau salée	48
6.2.4	Études sur le milieu aquatique	51
6.3	Toxicité pour les mammifères et les oiseaux	51
6.4	Toxicité dans l'air et sur terre	52
6.5	Devenir et effets à long terme	53
6.5.1	Bioconcentration	53
7	**Protection de la santé**	54
7.1	Normes relatives à l'ingestion	54
7.2	Données sur l'action irritante	55
7.2.1	Contact avec la peau	55
7.2.2	Contact avec les yeux	55
7.3	Données sur les propriétés organoleptiques	56
7.3.1	Odeur	56
7.3.2	Saveur	56
7.4	Études sur les effets toxiques	56
7.4.1	Inhalation	56
7.4.2	Ingestion	57
7.4.3	Tératogénicité et carcinogénicité	58
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	59
7.5.1	Inhalation	59
7.5.2	Ingestion	59
7.5.3	Contact avec la peau	59
7.5.4	Contact avec les yeux	59
7.6	Toxicité pour l'homme des produits de décomposition ou de combustion	60
8	**Compatibilité chimique**	61
8.1	Compatibilité entre le sulfate de zinc et divers agents	61
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	62
9.1	Mesures recommandées	62
9.1.1	Danger d'incendie	62
9.1.2	Moyens d'extinction	62
9.1.3	Mesures d'intervention en cas de déversement	62
9.1.3.1	Information générale	62
9.1.3.2	Déversement sur le sol	62
9.1.3.3	Déversement dans l'eau	62
9.1.4	Élimination	63
9.1.5	Appareils et vêtements de protection	63
9.1.6	Entreposage	63

10	**Cas de déversement accidentel**	64
10.1	Information générale	64
10.2	Accident de semi-remorque	64
11	**Identification et dosage du polluant**	65
11.1	Dosage du sulfate de zinc présent dans l'air	65
11.1.1	Spectrophotométrie d'absorption atomique	65
11.2	Identification du sulfate de zinc présent dans l'air	66
11.3	Dosage du sulfate de zinc présent dans l'eau	66
11.3.1	Colorimétrie	66
11.4	Identification du sulfate de zinc présent dans l'eau	67
11.5	Dosage du sulfate de zinc présent dans le sol	67
11.5.1	Spectrophotométrie	67
11.6	Identification du sulfate de zinc présent dans le sol	69

LISTE DES FIGURES

1	Hydrosolubilité en fonction de la température	6
2	Fûts types	12
3	Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	19
4	Distance en fonction du temps	20
5	Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal	21
6	Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique	22
7	Alpha en fonction du coefficient de distribution turbulente	23
8	Delta en fonction d'alpha	24
9	Teneur maximale en fonction de delta	24
10	Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique	27
11	Teneur moyenne en fonction du volume d'eau	28
12	Migration dans le sous-sol	30
13	Plan d'utilisation des nomogrammes	33
14	Migration dans un sable grossier	34
15	Migration dans un sable limoneux	35
16	Migration dans un till argileux	36

LISTE DES TABLEAUX

1	Nomogrammes de conversion	1
2	Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport du sulfate de zinc	11
3	Compatibilité entre le sulfate de zinc et certains matériaux de fabrication	14
4	Abréviations normalisées des noms de matériaux de fabrication	15

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
B	Périmètre mouillé
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.*	Dose létale minimale
DL 50*	Dose létale moyenne
DT min.	Dose toxique minimale
et coll.	Et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
h	Hauteur
IDLH*	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	Jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
K_0	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
k	Coefficient de perméabilité intrinsèque
l	Litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
M	Molaire
MAK*	Teneur maximale admissible
MAK-D*	Teneur maximale admissible
MAK-K*	Teneur maximale admissible - courte durée
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK*	Teneur maximale d'immission
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse moléculaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
N	Normal
Pa . s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL*	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL*	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	Température critique
TE 50*	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50*	Teneur inhibitrice moyenne
TLm*	Tolérance moyenne
TL min.*	Teneur létale minimale

TL 50*	Teneur létale moyenne
TLV●*	*Threshold Limit Value*
TLV● -C*	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.*	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
⚒	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

* Notions expliquées dans la section Définitions.

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection "Enviroguide". Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. - Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. - Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. - Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. - Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. - Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. - La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. - Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* - Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. - Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un "récepteur" qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. - En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. - Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. - Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV - *Short Term Exposure Limit).* - Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. - Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. - Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV® -C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. - La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). - Rapport de la masse d'une substance dissoute

à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV® -C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* - Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. - Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyer's Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
DOT	Department of Transportation (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

1 RÉSUMÉ

Sulfate de zinc ($ZnSO_4$)

Le sulfate de zinc se présente sous la forme de cristaux incolores, de masses cristallines blanches (anhydres) ou de poudre cristalline (hydratée) sans odeur.

Synonymes

Sulfate de zinc monohydraté, sulfate de zinc heptahydraté, sel de zinc et d'acide sulfurique, couperose blanche, vitriol blanc (syn. angl. *Zinc Sulfate*).

Appellations commerciales

Bonazen, sulfate de zinc, Bufopto, Op-Thal-Zin, Zinkosite.

Numéros d'identification

UN9161; CAS 7733-02-0; OHM-TADS 7216958; STCC 4963786.

Qualités et titres

Anhydre: plus de 99 p. 100 de sulfate de zinc.

Monohydrate: pour engrais: minimum de 36 p. 100 de zinc.

Dangers immédiats

Incendie. - Le sulfate de zinc est incombustible.

Effets sur l'homme. - Le sulfate de zinc est moyennement toxique.

Effets sur l'environnement. - Le sulfate de zinc est nocif pour les organismes et plantes aquatiques, même à de faibles teneurs du milieu.

Données relatives aux propriétés physiques

	Anhydre	Monohydrate
État (15 °C, 1 atm)	Solide	Solide
Point d'ébullition	Se décompose avant de fondre (680 °C)	(238 °C)
Inflammabilité	Incombustible	Incombustible
Densité relative	3,74 (20 °C)	3,28 (20 °C)
Solubilité (dans l'eau)	53,8 g/100 g (20 °C)	65 g/100 g (20 °C)
Comportement (dans l'eau)	S'enfonce et se mélange, aucune réaction	
Seuil olfactif	Inodore	Inodore

Dangers pour l'environnement

Le zinc est nocif pour les organismes aquatiques à des teneurs du milieu de 90 µg/l. Il peut s'accumuler dans les tissus et les os et il persiste dans le milieu.

Dangers pour l'homme

Aucune TLV® ni IDLH n'ont été établies.

Effets en cas d'inhalation (de la poussière). - Irritation des muqueuses du nez et de la gorge, de l'appareil respiratoire et du système digestif.

Effets en cas de contact. - Irritation de la peau et des yeux avec dermatite, lésions cutanées et conjonctivite possibles.

Effets en cas d'ingestion. - Sensations de brûlures dans la gorge et l'estomac, vomissements, diarrhée, hypotension, sueurs froides, hauts le coeur, possibilité de collapsus et de convulsions, et même de décès.

Dispositions immédiats à prendre

- En cas de déversement

Interdire l'accès des lieux où s'est produit l'accident. Prévenir le fabricant et les services de l'environnement. Confiner le liquide déversé si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact avec les solides et les poussières. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

- En cas d'incendie

La plupart des agents d'extinction peuvent être utilisés dans les cas de déversement de sulfate de zinc.

Mesures d'intervention d'urgence

- Sulfate de zinc répandu sur le sol

Enlever le produit par des moyens manuels ou mécaniques. Il faut éviter de soulever la poussière lorsqu'on ramasse le produit solide.

- Sulfate de zinc déversé dans l'eau

Confiner l'eau polluée au moyen d'un barrage, de digues de dérivation ou de barrières naturelles. Épurer l'eau polluée.

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

	Anhydre	Monohydrate
Aspect	Solide blanc	Cristaux blancs fluides (Virginia MSDS)
État habituel à l'expédition	Solide	Solide
État d'agrégation (15 °C, 1 atm)	Solide	Solide
Variables d'état		
Point d'ébullition	Se décompose avant de fondre	(CRC, 1980)
Température de décomposition	680 °C (perd du SO_3, forme du $3ZnO \cdot 2SO_3$); 930 °C (forme du ZnO) (ACS, 1972)	238 °C (perd du H_2O) (Virginia TD)
Densité et masse volumique		
Masse volumique	3,74 g/cm^3 (20 °C) (Bailar, 1973)	3,28 g/cm^3 (20 °C) (Bailar, 1973)
Densité relative	3,54 (25 °/4 °C) (CRC, 1980) 3,74 (Virginia TD)	3,28 (Virginia TD)
Masse volumique apparente		1400 kg/m^3 (emballé) (Virginia TD)
Comportement au feu		
Inflammabilité	Incombustible (CHRIS, 1978)	Incombustible (Virginia MSDS)
Solubilité		
Eau	41,9 g/100 g (Kirk-Othmer, 1984) 53,8 g/100 g (20 °C) (Virginia TD)	65 g/100 g (20 °C) (Virginia MSDS)
Autres corps communs	Soluble dans le méthanol et la glycérine (CRC, 1980)	
Autres propriétés		
Masse moléculaire du corps pur	161,43 (CRC, 1980)	176,46 (Virginia TD; CRC, 1980)

	Anhydre	Monohydrate
Composition des solutions commerciales types	Plus de 99 p. 100 de $ZnSO_4$	36 p. 100 (min.) de Zn, 20 ppm (max.) de Pb, 20 ppm (max.) de Fe, 100 ppm (max.) de chlorures (Virginia TD)
Indice de réfraction	1,669 (CRC, 1980)	1,67 (Virginia TD)
Viscosité	2,15 mPa · s (solution à 10 p. 100, 20 °C) (CRC, 1980)	
Chaleur latente de formation	-983,5 kJ/mol (25 °C) (Virginia TD)	-1299,6 kJ/mol (25 °C) (Virginia TD)
Entropie	124,7 J/mol (Virginia TD)	146,0 J/mol (Virginia TD)
Chaleur de dissolution	77,4 kJ/mol (18 °C) (Perry, 1973)	41,6 kJ/mol (20 °C) (ACS, 1972; Bailar, 1973)
Capacité calorifique: à pression constante	117 J/(mol · °C) (25 °C) (ACS, 1972; Bailar, 1973)	145 J/(mol · °C) (25 °C) (Virginia TD)
pH de la solution aqueuse		5,4 (solution à 1,0 p. 100 en poids, 20 °C) (Virginia TD)
Mélanges eutectiques	Solution aqueuse à 27,2 p. 100 (Pt fus. -6,5 °C) (Lange's Handbook, 1979)	

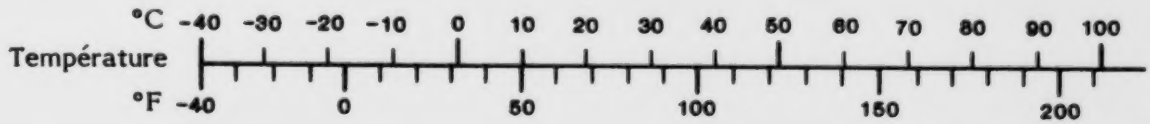
Propriétés chimiques et physiques

Le sulfate de zinc forme un certain nombre d'hydrates, dont trois sont stables: le $ZnSO_4 \cdot H_2O$ (monohydrate stable à 60-100 °C en solution), le $ZnSO_4 \cdot 6H_2O$ (hexahydrate stable à 39-60 °C en solution) et le $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (heptahydrate stable à 0-39 °C en solution) (Kirk-Othmer, 1984; Bailar, 1973). Trois hydrates instables sont également formés: le $ZnSO_4 \cdot 4H_2O$, le $ZnSO_4 \cdot 2H_2O$ et le $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (monoclinique).

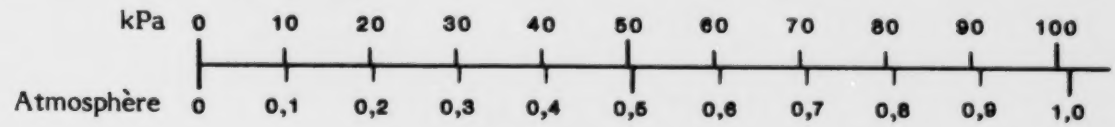
Les propriétés des formes anhydres et monohydratées sont données ci-dessus. L'heptahydrate (forme stable) se trouve également dans le commerce et contient une valeur équivalente de 54 p. 100 de $ZnSO_4$. Sa forme cristalline consiste en du $Zn(H_2O)6$ octahédrique et du SO_4 tétrahédrique avec un H_2O placé dans l'intervalle entre ces derniers. Ce produit a une densité de 1,966, perd de l'eau à 100 °C et toute son eau d'hydratation à 280 °C. Sa chaleur de dissolution est de -17,8 kJ/mol à 20 °C (Ullmann, 1975; Bailar, 1973).

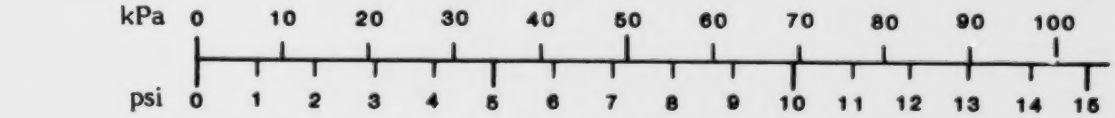
Tableau 1

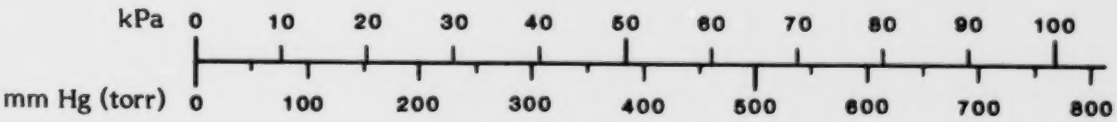
SULFATE DE ZINC — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression 1 kPa = 1000 Pa







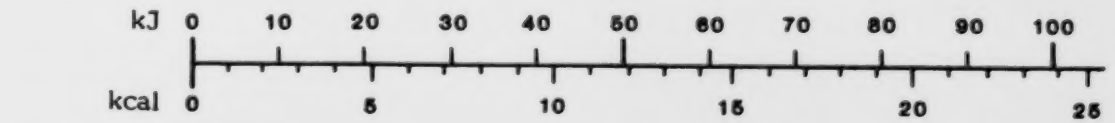
Viscosité

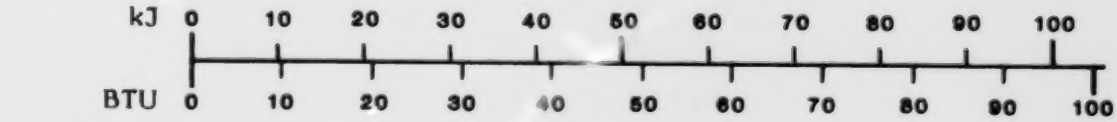
Dynamique 1 Pa · s = 1000 centipoises (cPo)

Cinématique 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≈ 1 mg/l

Énergie (chaleur) 1 kJ = 1000 J





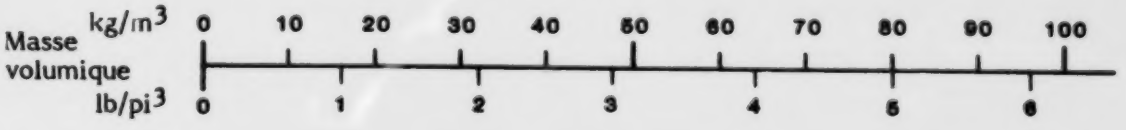
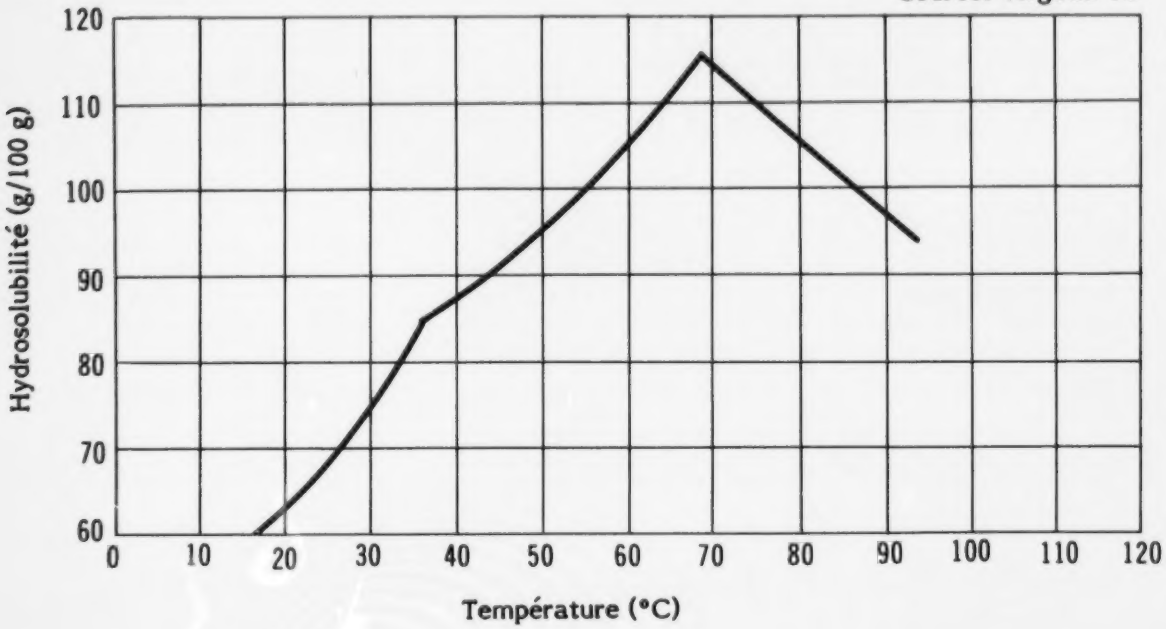


Figure 1

SULFATE DE ZINC

HYDROSOLUBILITÉ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Virginia TD



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres

(Corpus, 1980; Virginia Bul., 802; Virginia Bul., 807B)

Le sulfate de zinc se vend le plus souvent sous forme de monohydrate contenant un minimum de 36 p. 100 de zinc. La forme anhydre pure, d'une teneur supérieure à 91 p. 100, ainsi que l'heptahydrate, est également vendue à l'occasion.

3.2 Fabricants situés au Canada (CBG, 1980; CCPA, 1981; Corpus, 1980)

Les adresses et n^{os} de téléphone donnés ci-dessous sont ceux de sièges sociaux et non de services d'intervention en cas de déversement.

Anachemia Ltd., C.P. 147, Lachine (Québec), H8S 4A7, (514) 489-5711
Canadian Electrolytic Zinc Ltd., 860 boul. Cadieux, Valleyfield (Québec), J6S 4W2, (514) 373-9144
Cominco Ltd., 200 Granville Street, Vancouver (Colombie-Britannique) V6C 2R2, (604) 682-0611
Hudson Bay Mining and Smelting Co. Ltd., P.O. Box 28, Toronto Dominion Centre, Toronto (Ontario), M5K 1B8, (416) 362-2192
Texasgulf Canada, Commerce Court West, Suite 5000, P.O. Box 175, Commerce Court, Toronto (Ontario), M3C 2S2, (416) 869-1200

3.3 Autres fournisseurs (CBG, 1980; Corpus, 1980)

Aldert Chemicals Ltd., 648 Finch Avenue East, Willowdale (Ontario), M2K 2E6, (416) 223-0404
Canada Colour and Chemicals Ltd., 80 Scarsdale Road, Don Mills (Ontario), M3B 2R7, (416) 924-6831
C-I-L Inc., P.O. Box 200, Station A, 90 Sheppard Avenue East, North York (Ontario), M2N 6H2, (416) 226-6110
Degussa (Canada) Ltd., 3370 South Service Road, Burlington (Ontario), L7N 3M6, (416) 639-5710
Harrison and Crosfield (Canada) Ltd., 4 Banigan Drive, Toronto (Ontario), M4H 1G1, (416) 425-6500
International Chemical Canada Ltd., P.O. Box 385, Brampton (Ontario), L6V 2L3, (416) 453-4234
Kingsley and Keith (Canada) Ltd., 310, avenue Victoria, Montréal (Québec), H3Z 2M8, (514) 487-1550
MacKenzie and Feimann Ltd., 970 Malkin Avenue, Vancouver 4 (Colombie-Britannique), (604) 253-6335
Phillip Brothers (Canada) Ltd., 1245, Sherbrooke ouest, Montréal (Québec), H3G 1G9, (514) 845-4294
Pigment and Chemical Co. Ltd. (The), 5757, boul. Cavendish, Montréal (Québec), H4W 2W8, (514) 489-9396
Quadra Chemicals Ltd., 7575, aut. Transcanadienne, St-Laurent (Québec), H4T 1V6, (514) 337-2454
Van Waters and Rogers Ltd., 9800 Van Horne Way, Richmond (Colombie-Britannique), V6X 1W5, (604) 273-1441

3.4 Centres de production et transport

La production canadienne de sulfate de zinc est concentrée dans quatre provinces: la Colombie-Britannique fournit 39 p. 100 de la production totale; le Québec, 32 p. 100; l'Ontario, 7 p. 100; et le Manitoba, 2 p. 100. Lorsque le produit n'est pas utilisé sur place, il est transporté dans des sacs ou des fûts par chemin de fer ou camion.

3.5 Volume de production (Corpus, 1980)

Capacité nominale de production et total des approvisionnements

Société	Emplacement de l'usine	Capacité nominale (kt/an, 1979)
Canadian Electrolytic Zinc	Valleyfield (QC)*	506
Cominco	Trail (C.-B.)*	604,5
Hudson Bay Mining and Smelting	Flin Flon (Man.)*	184
Texasgulf of Canada	Timmins (Ont.)*	269
Total		1563,5
Production nationale (1979)		1320
Importations (1979)		1,9
Total des approvisionnements		1321,9

* Complexe intégré.

3.6 Fabrication du sulfate de zinc

Le sulfate de zinc est produit par la réaction de l'oxyde de zinc et de l'acide sulfurique.

3.6.1 Procédé de fabrication. - L'oxyde brut de zinc est mélangé avec une solution aqueuse d'acide sulfurique dans une cuve de filtration pour produire une solution de sulfate de zinc:

$$ZnO + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2O.$$

La solution est filtrée, ce qui élimine les impuretés insolubles, et elle est ensuite traitée avec de la poussière de zinc pour précipiter les contaminants métalliques. Au Canada, la majeure partie des solutions de sulfate de zinc est utilisée pour la production de zinc (dans des complexes intégrés). Lorsque l'on prévoit la production de sulfate de zinc, la solution est évaporée jusqu'à siccité à faible température pour produire le monohydrate, $ZnSO_4 \cdot H_2O$ (EPA 530/SW-104c).

3.7 Principales utilisations au Canada (Corpus, 1980)

Le sulfate de zinc est utilisé pour l'affinage du zinc et comme additif minéral, précipitant de la rayonne et engrais agricole.

3.8 **Principaux acheteurs au Canada** (Corpus, 1980)

Asarco, Grand Falls, (T.-N.)
Brunswick Mining, Bathurst, (N.-B.)
Canada Packers, Toronto, (Ont.)
Courtaulds Canada, Cornwall, (Ont.)
Heath Steele, Newcastle, (N.-B.)
Hudson Bay Mining & Smelting,
Flin Flon, (Man.)
Mattabi Mines, Sturgeon Lake, (Ont.)
Noranda Mines, Manitouwadge, (Ont.)
Texasgulf Canada, Timmins, (Ont.)
Western Mines, Campbell R., (C.-B.)
Willroy Mines, Manitouwadge, (Ont.)

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ DES MATÉRIAUX

4.1 Engins, récipients et emballages de transport

4.1.1 Information générale. - Le sulfate de zinc est transporté en vrac dans des wagons couverts ordinaires, des wagons-trémies couverts et des camions-trémies couverts. À l'occasion, des solutions de sulfate de zinc sont transportées par wagons-citernes de spécification 111A60W1. Aucun règlement particulier sur les transports ne s'applique à ce produit (RTDCR, 1974).

Lorsqu'il s'agit de petites quantités, le sulfate de zinc est surtout transporté dans des sacs. Les plus utilisés sont les sacs multiparois résistants à l'humidité de 23 kg (50 lb) et 45 kg (100 lb).

4.1.2 Transport sous emballage. - En plus d'être transporté en vrac, le sulfate de zinc solide est transporté dans des fûts et dans des caisses. De nombreux matériaux sont autorisés pour la fabrication des fûts. Le tableau 2 donne la description des divers types de fûts utilisés (TDGC, 1980). Les emballages suivants sont également utilisés (TDGC, 1980):

- Caisse en bois avec récipients intérieurs en verre, en métal, en plastique ou en terre cuite, chacun d'une capacité de 10 l;
- Caisse en carton avec récipients intérieurs comme ci-dessus, chacun d'une capacité de 5 l;
- Caisse en métal d'une capacité totale maximale de 40 l.

Tableau 2
Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport du sulfate de zinc

Catégorie	Code	Description	Figure
Acier	1A1	Dessus non amovible; réutilisable	2
	1A1A	1A1 avec rebords renforcés	2
	1A1B	1A1 avec collerette de fermeture soudée	2
	1A1C	1A1 avec revêtement intérieur en plomb	2
	1A1D	1A1 avec revêtement intérieur autre que le plomb	2
	1A2	Dessus amovible; réutilisable	2
	1A2A	1A2 avec rebords renforcés	2
	1A2B	1A2 avec revêtement intérieur autre que le plomb	2
	1A3	Dessus non amovible; non réutilisable	2
	1A4	Dessus amovible; non réutilisable	2
Monel*	TC5M		2
Aluminium	1B1	Dessus non amovible	2
	1B2	Dessus amovible	2

Catégorie	Code	Description	Figure
Contre-plaqué	1D2		
Carton	1G1	Feuilles convolutées. Contenance de 250 l (55 gal). Masse nette maximale de 400 kg (882 lb).	
Plastique	1H1	Dessus non amovible. Contenance de 250 l (55 gal). Masse nette maximale de 400 kg (882 lb).	
	1H2	Comme 1H1, sauf que le dessus est amovible.	
Fût en acier avec récipient intérieur en matière plastique	6HA1	Tôle extérieure en acier en forme de fût. Récipient intérieur en matière plastique. Contenance de 225 l (49 gal).	
Fût en contre-plaqué avec récipient intérieur en matière plastique	6HD1	Récipient extérieur en contre-plaqué en forme de fût. Récipient intérieur en matière plastique. Contenance de 225 l (49 gal).	
Fût en carton avec récipient intérieur en matière plastique	6HG1	Récipient extérieur en feuilles de carton convolutées. Récipient intérieur en matière plastique en forme de fût. Contenance de 225 l (49 gal).	

* Voir § 4.3.

4.2 Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement

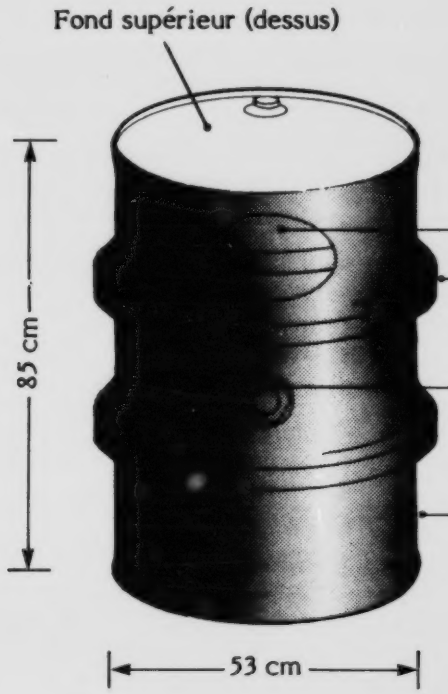
Les matériaux de fabrication, ainsi que les spécifications, mentionnés dans la présente section sont ceux qui prévalent généralement dans le transport du sulfate de zinc en solution. D'autres matériaux peuvent convenir dans certains cas; on consultera à cet égard le tableau 3. L'équipement type décrit dans les paragraphes qui suivent se compose de conduites, raccords flexibles, robinets, joints d'étanchéité, pompes et réservoirs de stockage. (Les goulottes, trémies, etc., utilisées pour décharger le produit solide en vrac transporté en wagon, peuvent être faites de tôle d'acier commercial ordinaire. L'équipement ordinaire de manutention des solides convient.)

On recommande l'utilisation de conduites et de raccords en acier inoxydable de nomenclature 40 dans le cas de solutions à la température de la pièce. Au-dessus de cette température, les conduites et les raccords devraient comporter un revêtement intérieur de résine à base de polypropylène ou de polyéther chloré (DCRG, 1978). La conduite de transvasement devrait avoir 51 mm (2 po) de diamètre de préférence, puisqu'il s'agit du diamètre du raccord standard d'un wagon-citerne, mais elle peut être de presque n'importe quel diamètre (même si un diamètre inférieur à 25 mm (1 po) n'est pas conseillé). Des conduites extérieures à purge gravitaire sont requises. Un flexible avec armature d'acier ou une conduite rigide comportant

Figure 2

SULFATE DE ZINC

FÛTS TYPES



Fût en monel

Étiquette d'identification

Joncs de roulage faits de caoutchouc naturel solide et flexible

Diamètre maximal de la bonde de 59 mm

Corps et fonds fabriqués en monel de 10 mm d'épaisseur

Capacité maximale de 220 l

Fût en acier

Revêtement intérieur en plomb d'au moins 2,4 mm pour la catégorie 1A1C

Étiquette d'identification

Diamètre maximal de la bonde de 70 mm

Corps et fonds fabriqués en acier laminé

Capacité maximale de 250 l

Masse nette maximale de 400 kg

Fût en aluminium

Étiquette d'identification

Diamètre maximal de la bonde de 70 mm

Corps et fonds fabriqués en aluminium pur à 99 % au moins

Capacité maximale de 250 l

Masse nette maximale de 400 kg

des joints articulés peuvent constituer les sections souples de la tuyauterie de transvasement. Bien entretenus, les joints tournants à rotule comme les joints de type presse-étoupe donnent un bon rendement. Certaines tuyauteries souples peuvent être constituées de raccords standards comportant plusieurs coudes filetés.

Des robinets à membrane en fonte ou en acier moulé, avec revêtement intérieur en résine de polypropylène, conviennent à toutes les teneurs et à presque toutes les températures (DCRG, 1978). Le polypropylène peut servir comme matériau de fabrication des joints d'étanchéité (DCRG, 1978).

Pour le pompage, il est recommandé d'utiliser une pompe centrifuge à aspiration unique avec arbre en acier inoxydable et enveloppe ainsi que roue en acier inoxydable moulé (HIS, 1969). Le choix des matériaux est fonction, bien sûr, des teneurs et des températures prévues. Des contre-ailettes d'équilibrage (sur la roue), une boîte à garniture extra-longue à joint hydraulique et une garniture en polypropylène permettent de réduire les fuites. La pompe et le moteur doivent être directement reliés mais on évitera un couplage étroit. Des réservoirs de stockage en acier au carbone soudés avec revêtement intérieur en caoutchouc ou en acier inoxydable sont généralement utilisés. Une doublure en Hypalon est préférable si un réservoir est soumis à des températures élevées (GF).

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

La compatibilité entre le sulfate de zinc et certains matériaux de fabrication est indiquée au tableau 3. Les abréviations qui ne sont pas entre parenthèses sont expliquées au tableau 4. Voici une brève définition des termes utilisés pour évaluer les matériaux.

Recommandé: Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; il peut convenir pour une utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: L'utilisation indiquée causera une grave détérioration du matériau; l'emploi du matériau est donc déconseillé.

Tableau 3
Compatibilité entre le sulfate de zinc et certains matériaux de fabrication

Utilisation	Teneur (%)	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords	La plupart des solutions	24	PVDC (DCRG, 1978)		
		49	PE (DPPED, 1967)		
		60	PVC I PVC II (DPPED, 1967)		
		71	ABS (DPPED, 1967)		
		93	PP (DCRG, 1978)		
		121	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
		135	PVDF (DCRG, 1978)		
		Jusqu'à la limite opérationnelle du matériau	PVC I ABS PE (MWPP, 1978)		
2. Robinetterie	30	Chaude et froide	Acier inox 316 (JSSV, 1979)		
3. Pompes	Solution aqueuse		Tout bronze Acier inox 316 (HIS, 1969)		
4. Autres	Saturation	20	Acier inox (ASS)	Acier inox 302, 304, 430 (ASS)	
		60	uPVC, PE, PP, NR, NBR, IIR, EPDM, CR, FPM, CSM (GF)	POM (GF)	
		80	PP, NBR, IIR, EPDM, CR, FPM, CSM (GF)	PE (GF)	uPVC, NR, POM (GF)
		60	PVC (TPS, 1978)		
		82	PP (TPS, 1978)		
		85	CPVC (TPS, 1978)		
		121	PVDF (TPS, 1978) SBR (GPP)		
	10-30	24-100	Verre (CDS, 1967)		
	10	24			Béton (CDS, 1967)
	30	24			Béton (CDS, 1967)
	10-20, 100	24	Bois (CDS, 1967)		
	Solution diluée	60	uPVC, PE, PP, NR, NBR, IIR, EPDM, CR, FPM, CSM (GF)	POM (GF)	

Utilisation	Teneur (%)	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
	5,25 %	20	Aciers inox 302, 304, 316 (ASS)	Acier inox 430 (ASS)	Acier inox 410 (ASS)
	25 %	Pt ébul.	Acier inox 316 (ASS)	Aciers inox 302, 304 (ASS)	Aciers inox 410, 430 (ASS)

Tableau 4
Abréviations normalisées des noms de matériaux de fabrication

Abréviation*	Matériau de fabrication
ABS	Plastique à base d'acrylonitrile-butadiène-styrène
CPVC	Polychlorure de vinyle chloré
CR	Néoprène (polychloroprène)
CSM	Polyéthylène chlorosulfonaté (Hypalon)
EPDM	Terpolymère d'éthylène-propylène-diène
FPM	Caoutchouc fluoré (Viton)
IIR	Butylcaoutchouc (butyle)
NBR	Butadiène-acrylonitrile (Nitrile, Buna N)
NR	Caoutchouc (caoutchouc naturel)
PE	Polyéthylène
POM	Polyoxyméthylène
PP	Polypropylène
PVC	Polychlorure de vinyle
PVDC	Polychlorure de vinylidène (Saran)
PVDF	Polyfluorure de vinylidène
SBR	Butadiène-styrène (GR-5, Buna S)
uPVC	Polychlorure de vinyle non plastifié

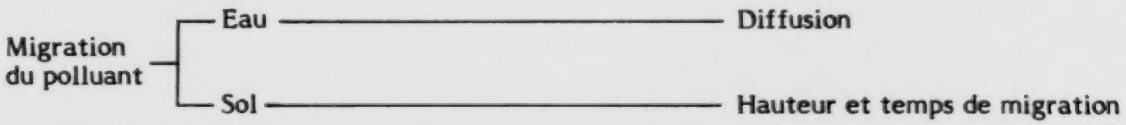
* Les abréviations ci-dessus sont normalisées par l'ISO.

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

Le sulfate de zinc est généralement transporté sous forme solide, principalement dans des sacs et des fûts, et à l'occasion en vrac dans des wagons-trémies à déchargement pneumatique. Le sulfate de zinc se dissout rapidement dans l'eau et pénètre dans le sol à une vitesse qui varie selon le type de sol et la teneur en eau de ce dernier. La migration du produit jusqu'à la nappe phréatique constitue une menace de pollution.

Comme le sulfate de zinc n'est pas volatil, sa diffusion dans l'atmosphère n'est pas à craindre, bien que dans certains cas de déversement la poussière de sulfate de zinc puisse poser un problème. Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration du produit dans l'eau ou dans le sol.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser pour les différents milieux des hypothèses différentes, et d'une certaine façon peu cohérentes. Cette méthode permet néanmoins de comparer les comportements de différents produits dans un milieu donné à partir d'hypothèses similaires.

5.2 Nomogrammes des fuites

Étant donné que le sulfate de zinc est principalement transporté à l'état solide, aucun nomogramme des fuites n'a été établi.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

Comme le sulfate de zinc est non volatil dans les cas prévisibles de déversement, il n'y a pas de danger véritable de diffusion dans l'atmosphère.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. - Lorsque le sulfate de zinc est déversé dans l'eau, il se dissout rapidement. Il y a mélange et la nappe déversée se dilue. En général, le phénomène de mélange peut être décrit par les équations classiques de diffusion, comportant un ou plusieurs

coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent; alors que dans un plan d'eau (étendue d'eau calme), il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'un cours d'eau en aval du lieu d'un déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et aux solides qui se dissolvent dans l'eau. Comme la densité relative du sulfate de zinc est supérieure à celle de l'eau, la teneur maximale initiale devrait être observée près du fond.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux cours d'eau dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans un plan d'eau, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau. - Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant des cours d'eau non soumis aux marées et des lacs au repos et autres plans d'eau.

A. - Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 4 Distance en fonction du temps (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 5 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal (pour une plage de profondeurs du canal (hauteurs d'eau))

Figure 6 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 7 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente (pour différentes valeurs de temps écoulé)

Figure 8 Delta* en fonction d'alpha (pour différentes masses de liquide déversé)

---

* Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

Figure 9 Teneur maximale en fonction de delta (pour des sections mouillées de différentes surfaces)

B. - Lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 10 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique de la zone dangereuse (pour différentes profondeurs du lac, c.-à-d. différentes hauteurs d'eau)

Figure 11 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse (pour différentes masses de liquide déversé)

La figure 3 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 4 Distance en fonction du temps. - Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps *t* que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 5 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. - Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillée B. La figure 5 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 6 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. - Les données connues sur le rayon r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 7 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. - Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps *t* requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

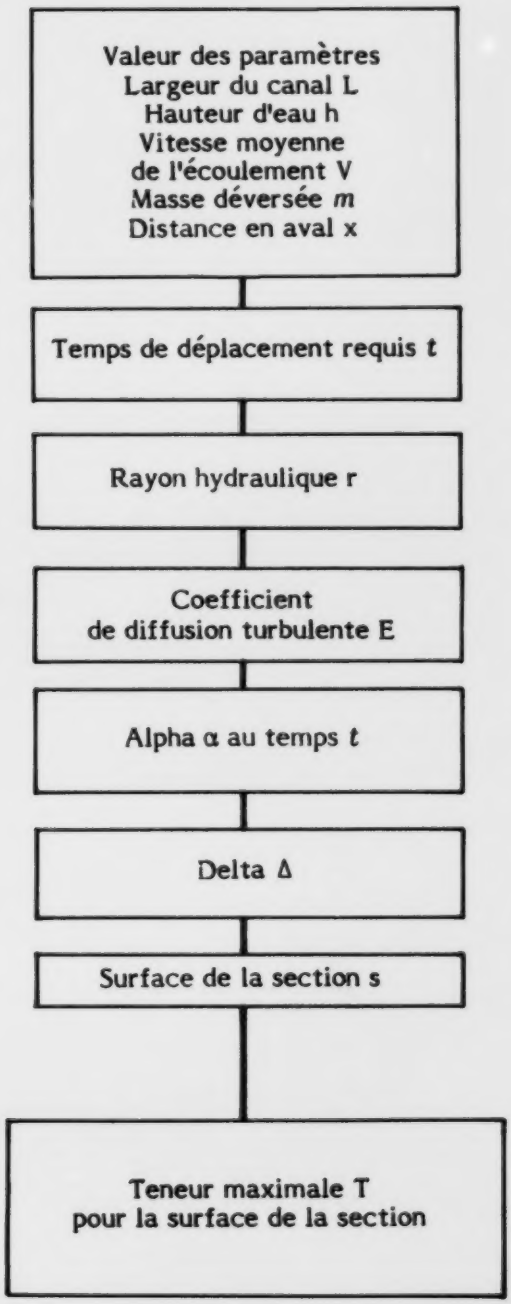
Figure 8 Delta en fonction d'alpha. - Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta en fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 9 Teneur maximale en fonction de delta. - Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles à

Figure 3

SULFATE DE ZINC

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT D'UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES



Étape 1

Par observation ou évaluation

L = _____ m
h = _____ m
V = _____ m/s
m = _____ tonnes
x = _____ m

Étape 2 *t* = _____ mn (fig. 4)

Étape 3 r = _____ m (fig. 5)

Étape 4 E = _____ m^2/s (fig. 6)

Étape 5 α = _____ (fig. 7)

Étape 6 Δ = _____ (fig. 8)

Étape 7 s = L x h = _____ m^2

Étape 8 T = _____ ppm (fig. 9)

Figure 4

SULFATE DE ZINC — **DISTANCE EN FONCTION DU TEMPS**

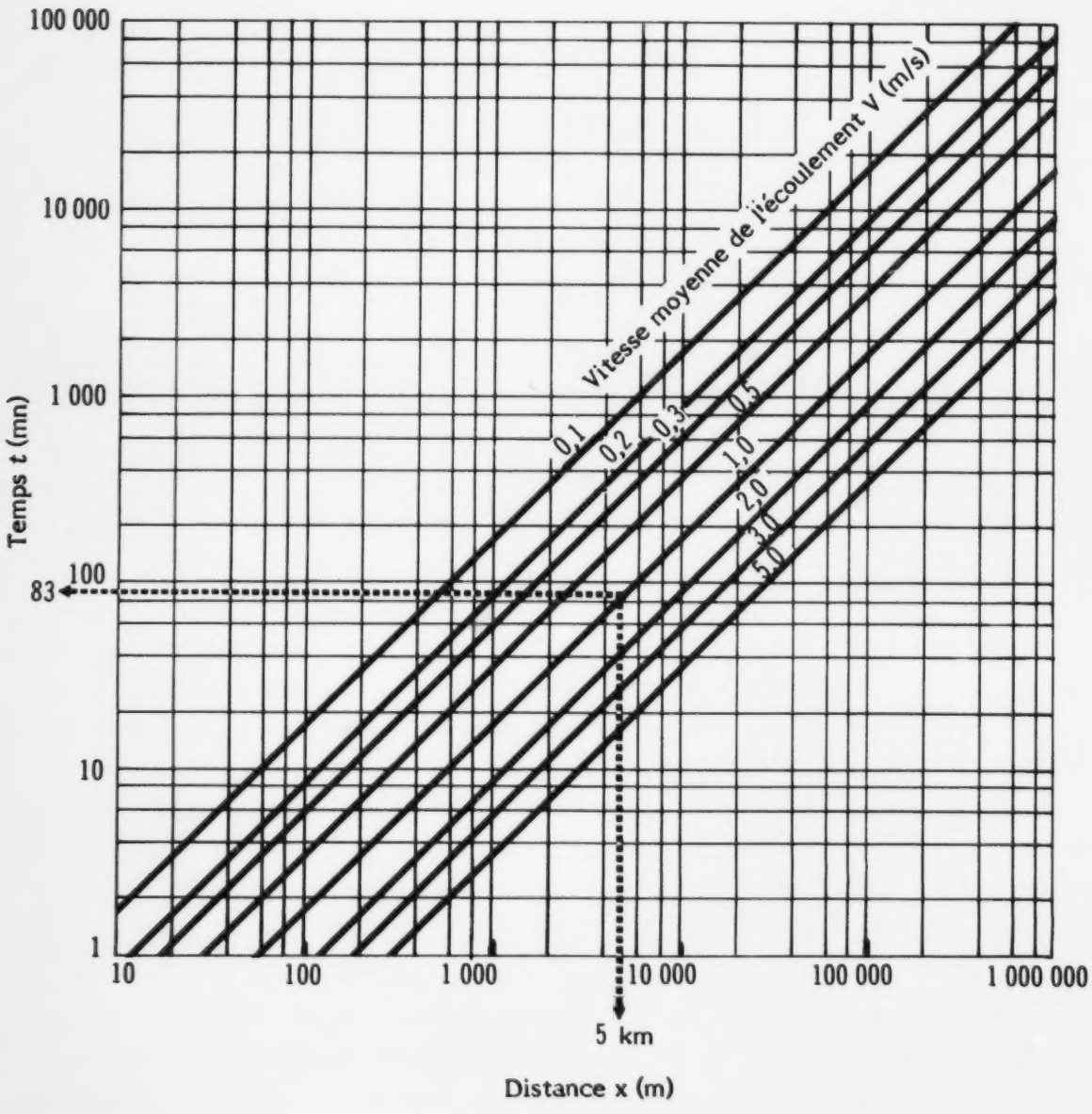


Figure 5

SULFATE DE ZINC

RAYON HYDRAULIQUE EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

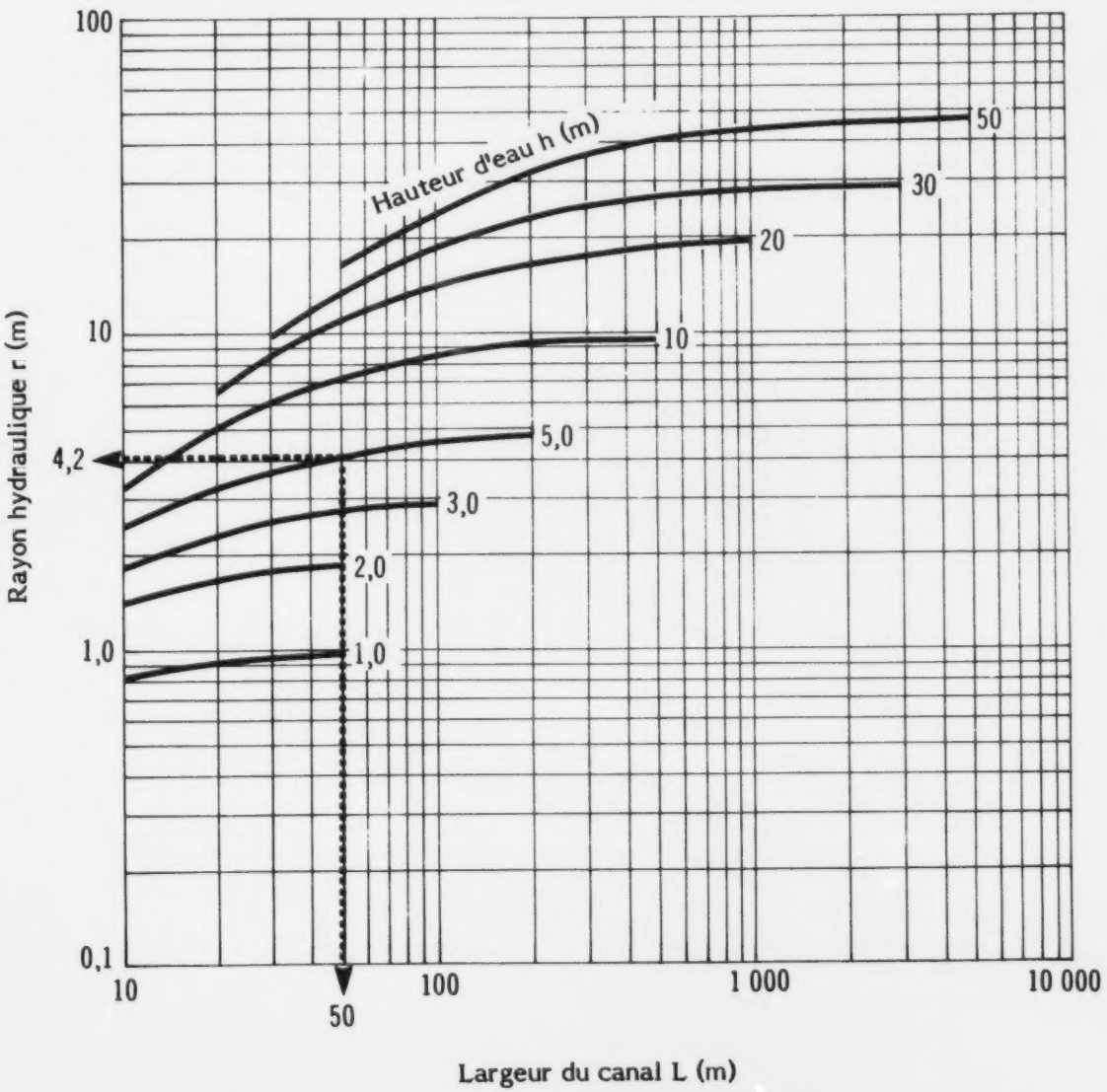


Figure 6

SULFATE DE ZINC

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

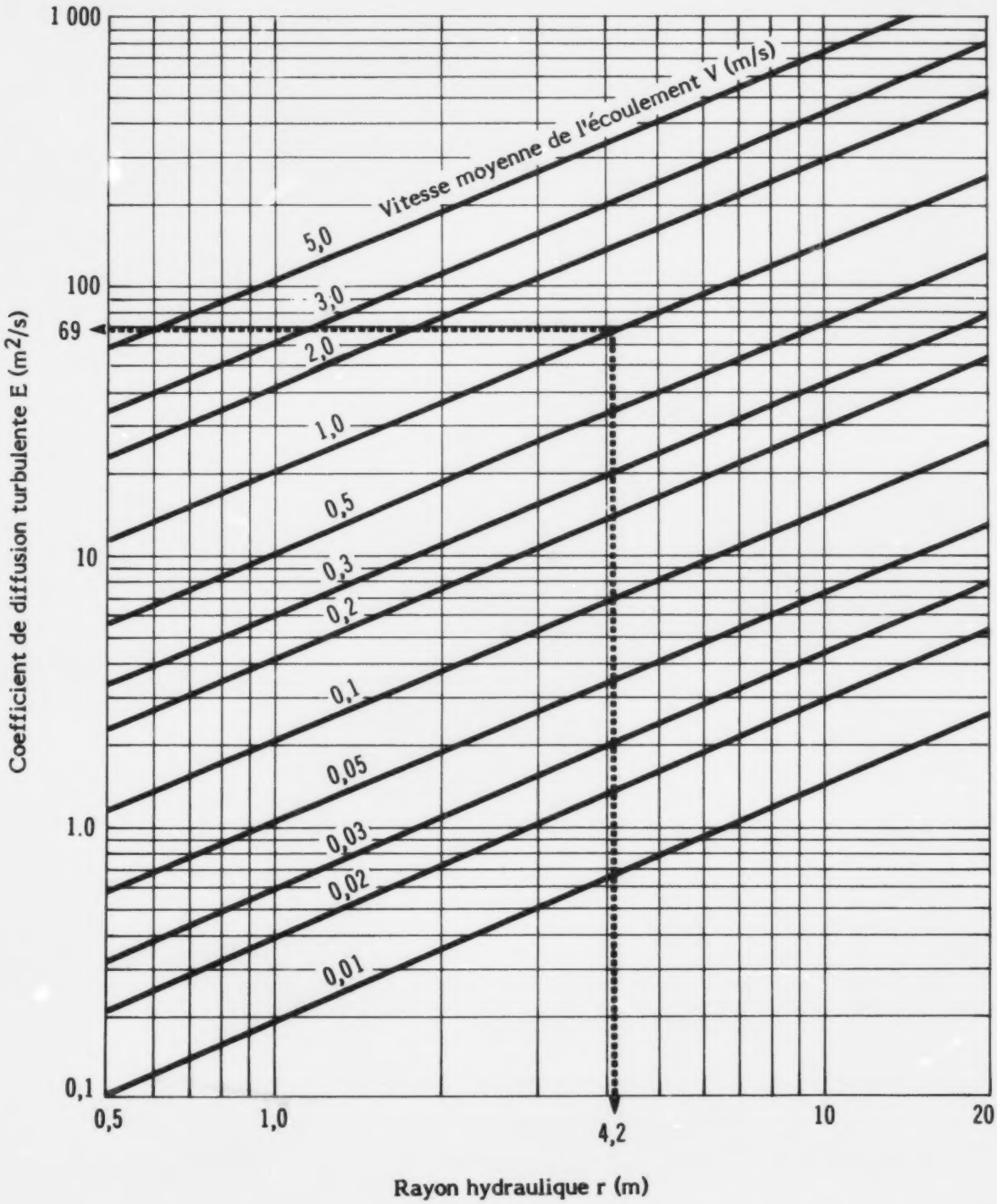


Figure 7

SULFATE DE ZINC

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

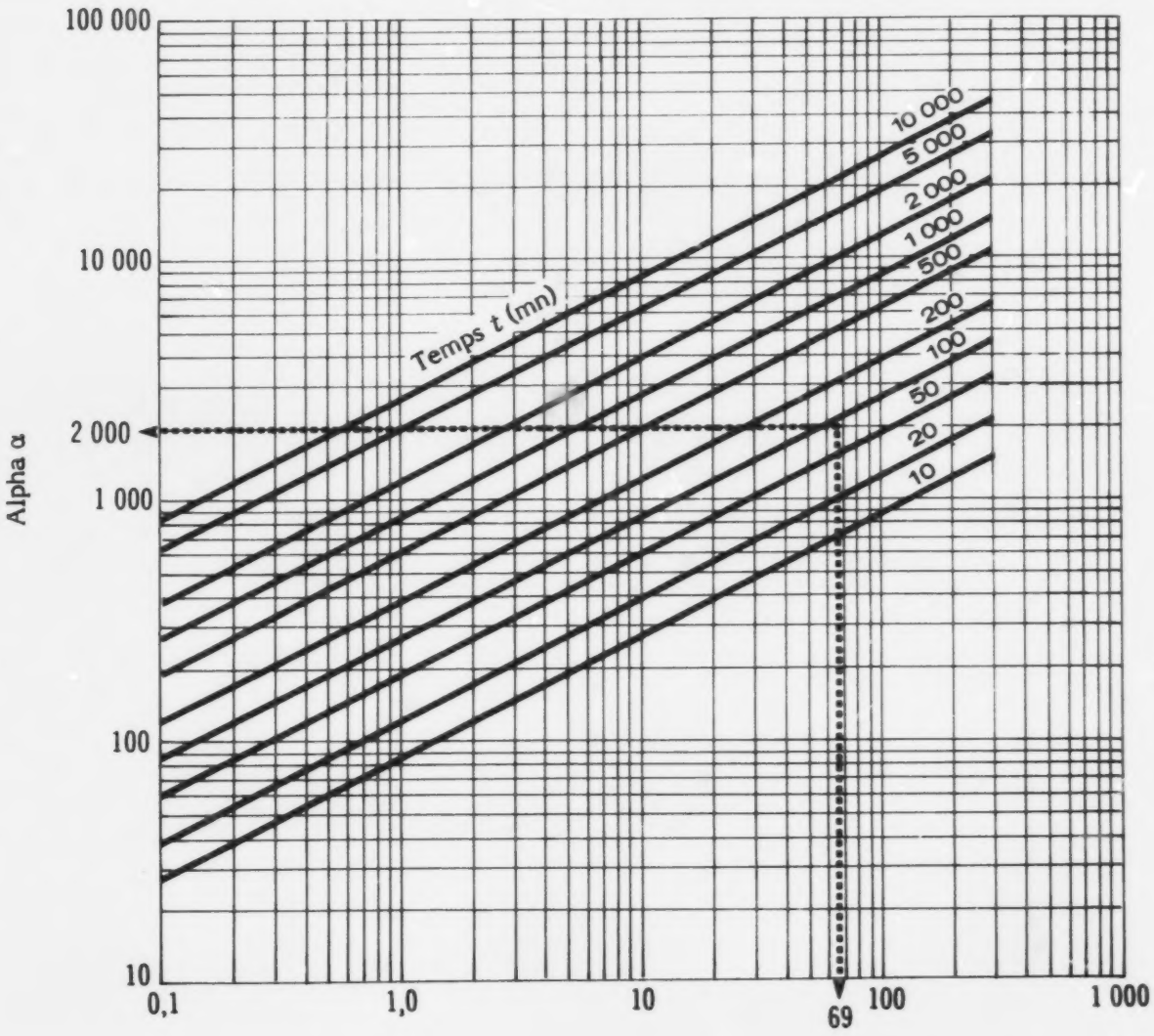


Figure 8

SULFATE DE ZINC

DELTA
EN FONCTION D'ALPHA

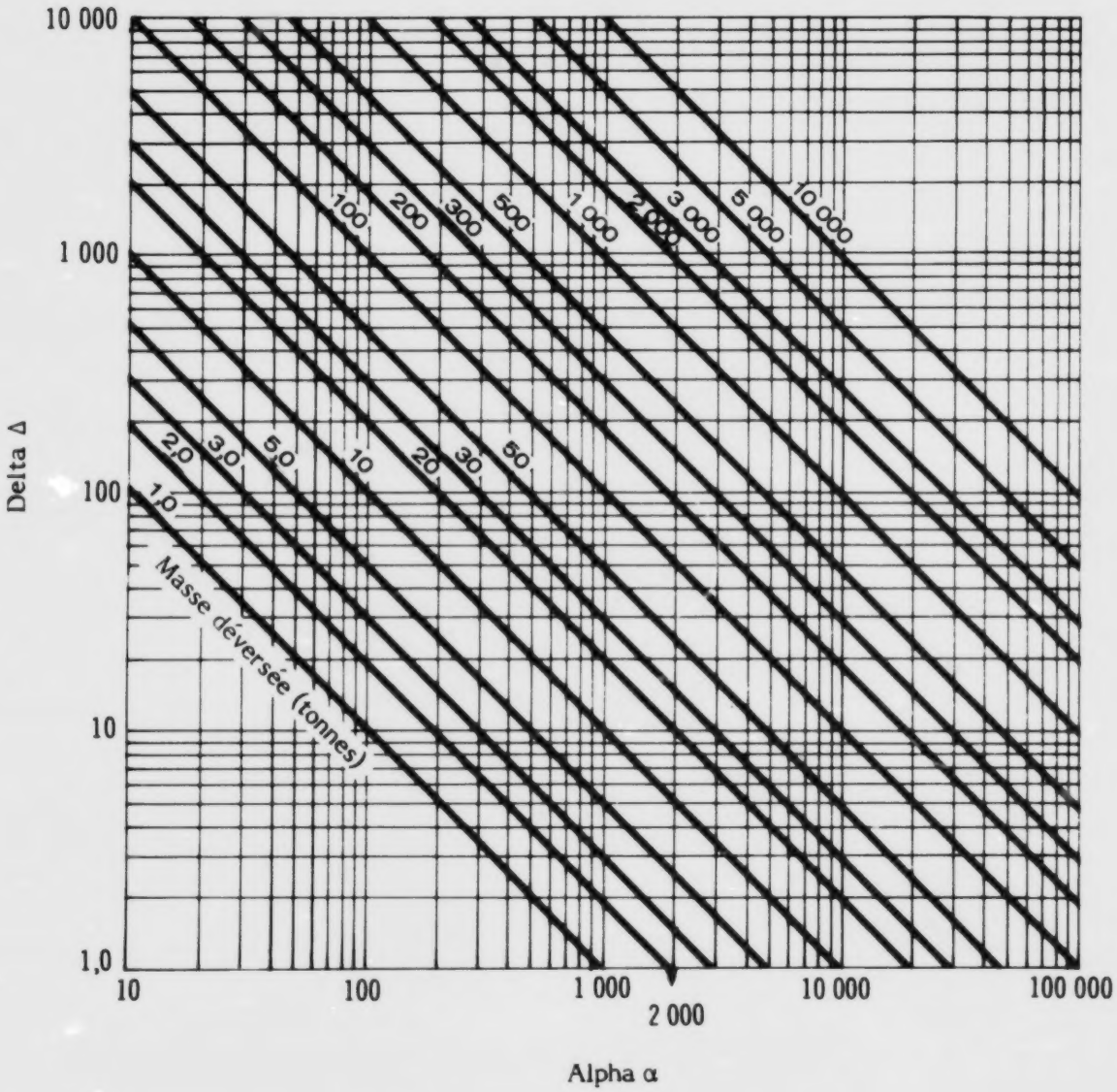
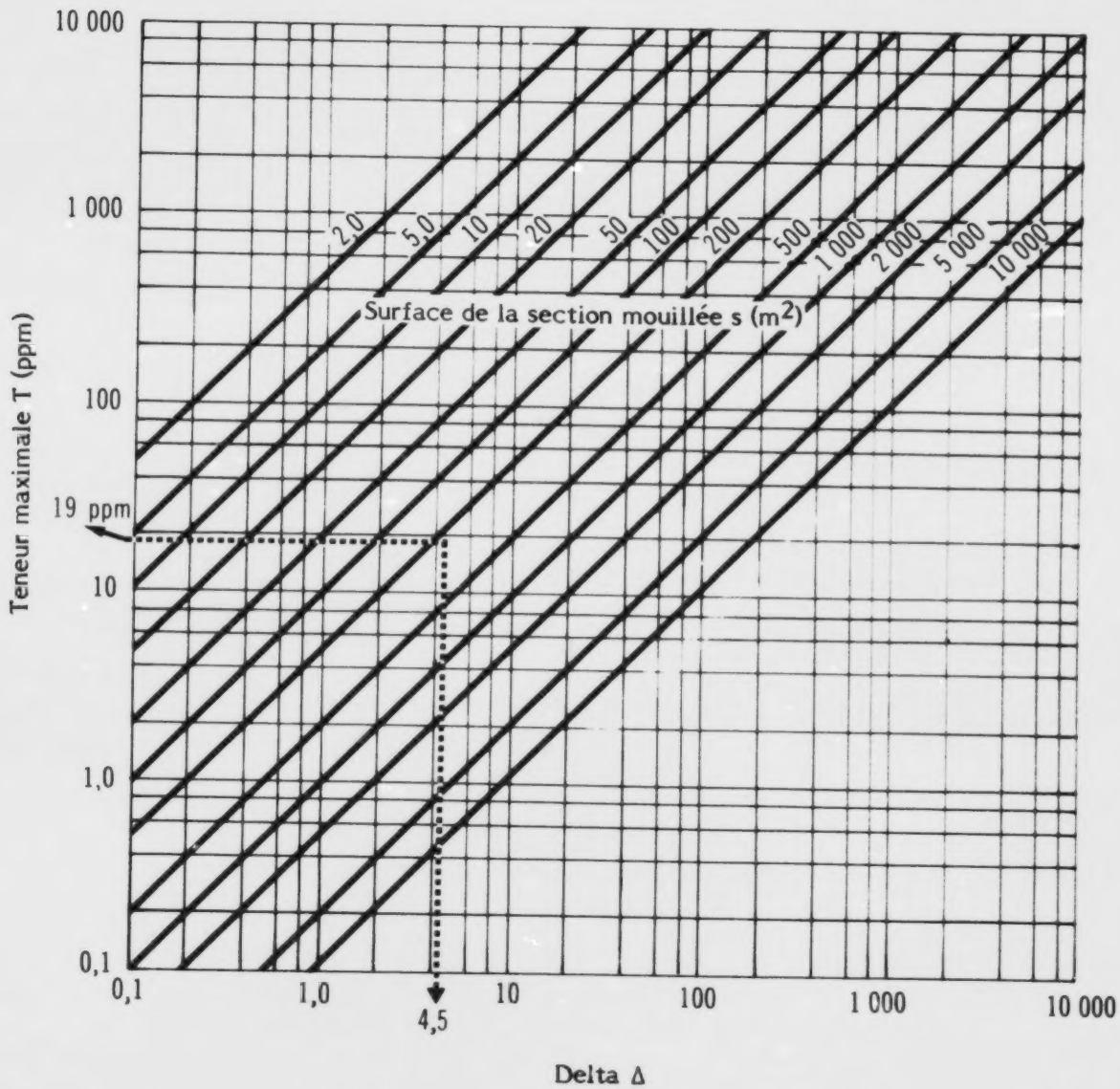


Figure 9

SULFATE DE ZINC

TENEUR MAXIMALE EN FONCTION DE DELTA



l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 10 Volume d'eau en fonction du rayon. - L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur égale à la hauteur d'eau h à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 10. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 11 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. - Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de corps dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées. - Vingt tonnes de sulfate de zinc en solution à 45 p. 100 ont été déversées dans un cours d'eau. La hauteur h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

L = 50 m; h = 5 m; V = 1 m/s;

m = 20 tonnes de sulfate de zinc en solution à 45 p. 100 = 9 tonnes de sulfate de zinc.

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.

Comme x = 5000 m et V = 1 m/s, t = 83 mn (fig. 4).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.

Comme L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m (fig. 5).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.

Comme r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s (fig. 6).

Étape 5 Déterminer la valeur d'alpha.

Comme E = 69 m^2/s et t = 83 mn, α = 2000 (fig. 7).

Étape 6 Déterminer la valeur de delta.

Comme α = 2000 et m = 9 tonnes, Δ = 4,5 (fig. 8).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.

s = L x h = 50 x 5 = 250 m^2.

Figure 10

SULFATE DE ZINC

VOLUME D'EAU EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

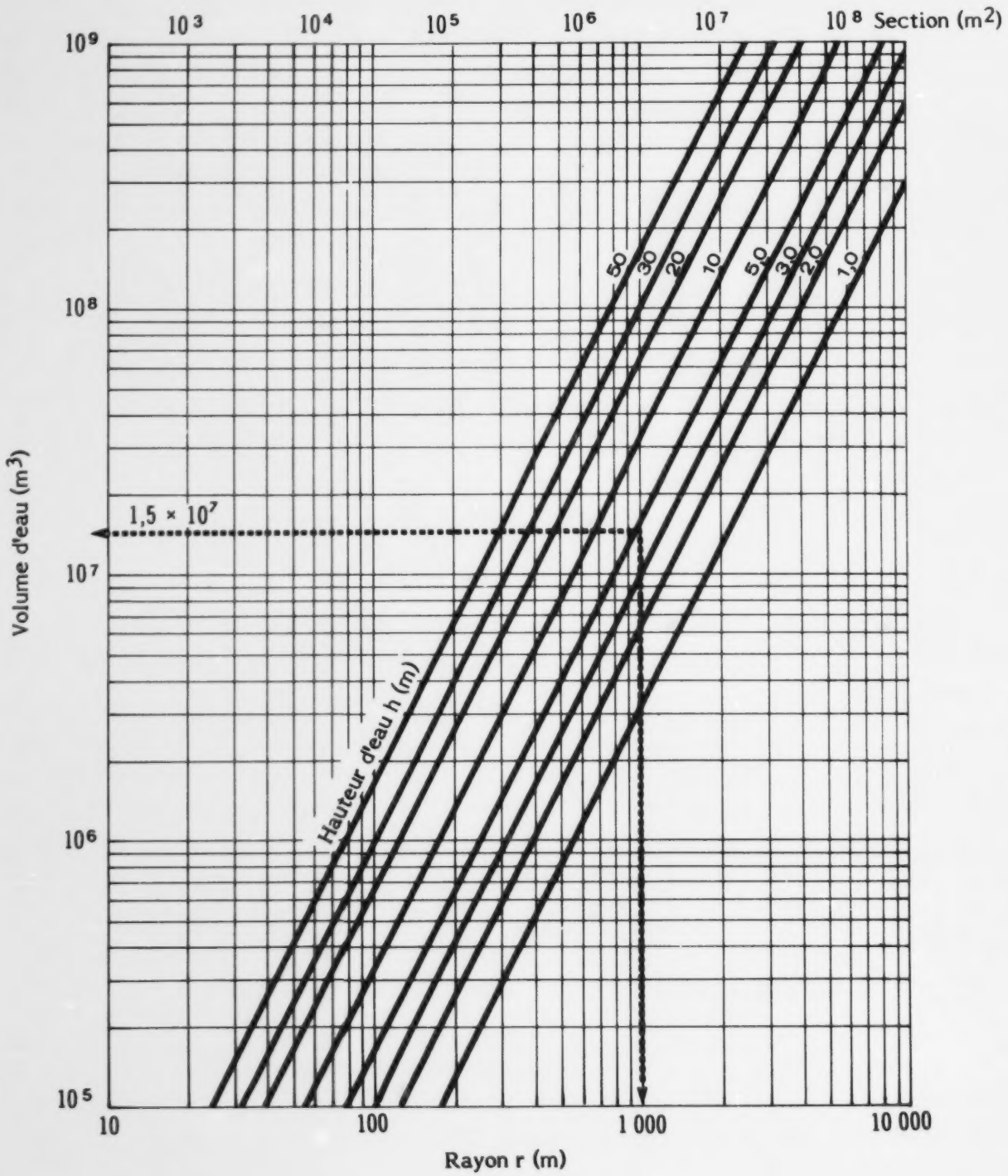
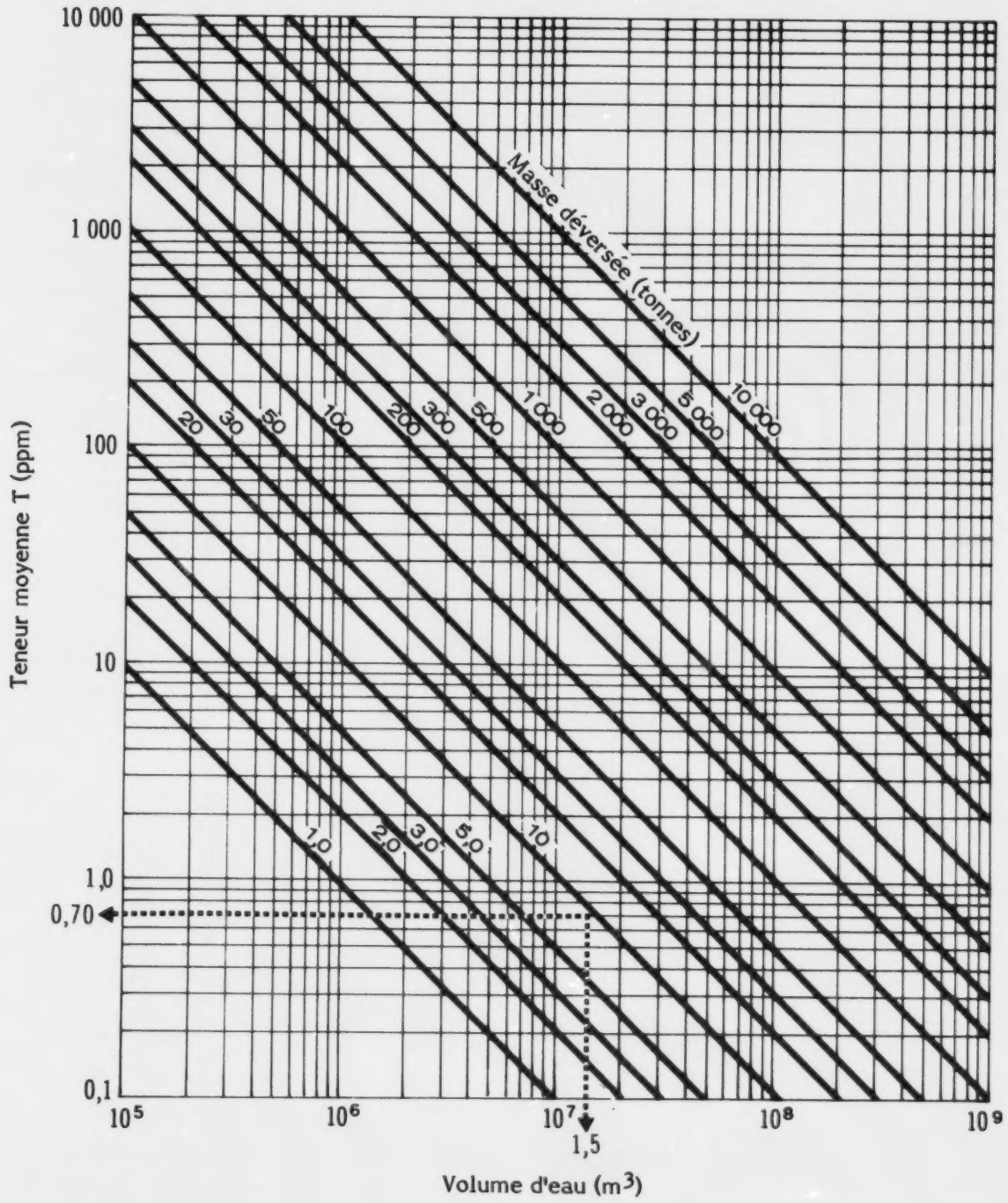


Figure 11

SULFATE DE ZINC

TENEUR MOYENNE
EN FONCTION DU VOLUME D'EAU



Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.

Comme $\Delta = 4,5$ et $s = 250\ m^2$, T = 19 ppm (fig. 9).

5.4.3.2 Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau. - Neuf tonnes de sulfate de zinc ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

h = 5 m; r = 1000 m; m = 9 tonnes.

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.

Comme r = 1000 m et h = 5 m, vol. = $1,5 \times 10^7\ m^3$ environ (fig. 10).

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.

Comme vol. = $1,5 \times 10^7\ m^3$ et m = 9 tonnes, T = 0,7 ppm (fig. 11).

5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. - Le sulfate de zinc est surtout transporté sous forme de solide. Lorsqu'il est renversé sur le sol, il y a peu de risque de pollution des eaux souterraines lorsque le sol est sec et que le ramassage peut se faire avant qu'une précipitation survienne. En revanche, si la teneur en humidité du sol est grande ou si une précipitation survient avant que le sulfate de zinc n'ait été ramassé, il y a lieu de craindre une pollution des eaux souterraines. Comme le sulfate de zinc est très soluble dans l'eau, des solutions peuvent pénétrer dans le sol. Il y a interaction entre le sulfate de zinc et le sol. Cependant, la plupart des ions de sulfate de zinc échangées avec le sol migrent vers la nappe phréatique.

Si le sol est saturé en eau au moment de l'accident, comme cela peut se produire à la suite de précipitations, la solution ruissellera ou formera une mare et s'évaporera.

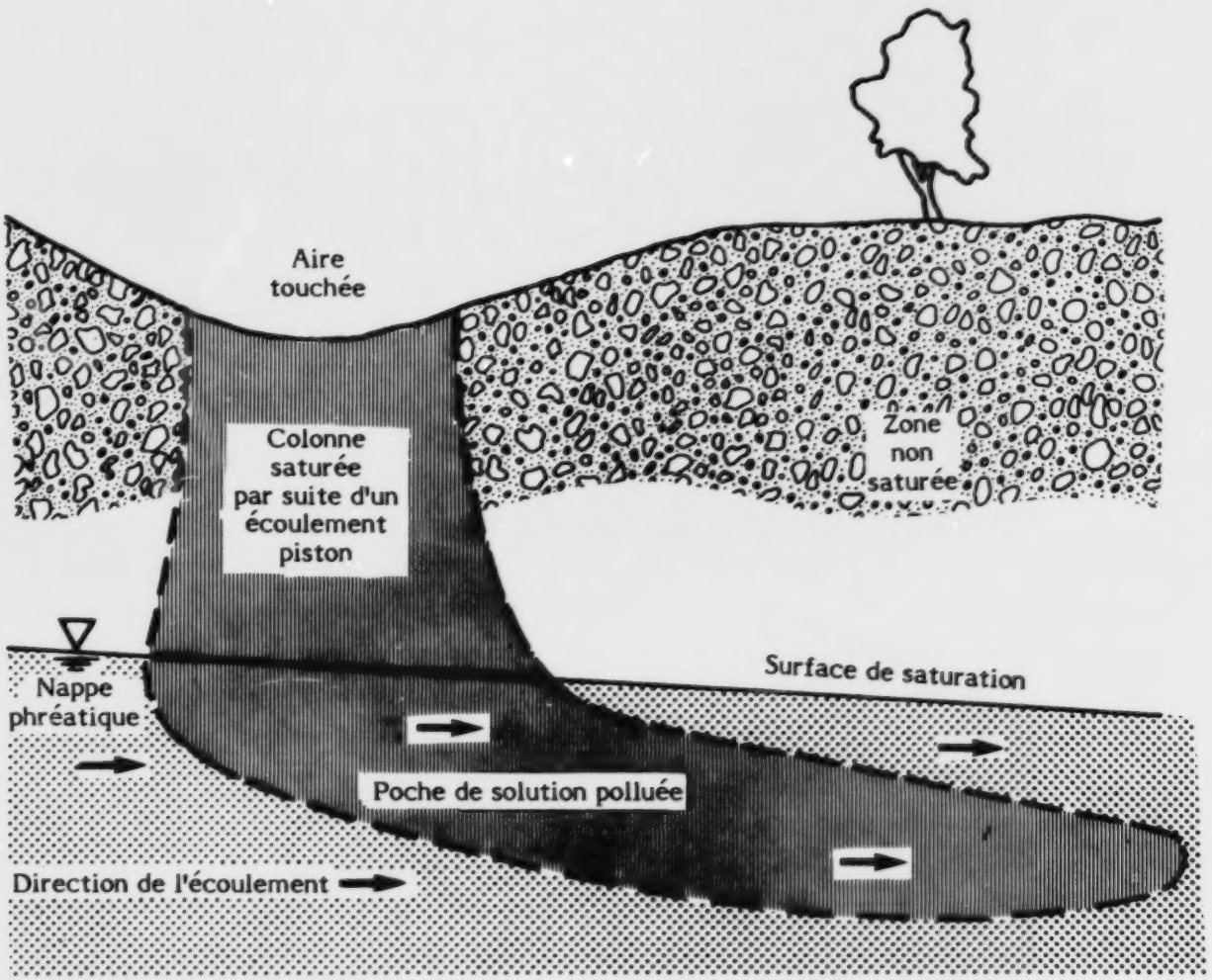
Dans la présente section, les auteurs ont attribué au sol une capacité normale d'humidité, dite capacité au champ. Le sol recèle alors très peu d'eau interstitielle susceptible de diluer le produit au cours de sa migration ou de freiner son mouvement descendant: il s'agit donc d'un scénario parmi les pires.

Lorsque le fluide atteint la nappe phréatique, il continue sa migration dans la direction de l'écoulement de l'eau de la nappe. Il forme une poche de solution polluée, au sein de laquelle les phénomènes de diffusion et de dilution contribuent à une certaine baisse de la teneur en polluant (fig. 12).

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. - Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du fluide dans la zone non saturée (à capacité au champ), jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le manuel d'introduction de la

Figure 12

SULFATE DE ZINC — **MIGRATION DANS LE SOUS-SOL**



Sol: sable grossier
Porosité = 0,35
Perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2
Capacité au champ = 0,075

collection. Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, alors que l'on pose comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. - Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)

ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)

μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)

g = accélération de la pesanteur = 9,8 m/s^2.

Comme la solution migrante résulte des précipitations tombées sur le sulfate de zinc solide, elle est considérée comme un fluide ayant des propriétés semblables à celles de l'eau.

Valeurs établies pour les fluides

	Solution diluée	Eau
Paramètre	4 °C	20 °C
Masse volumique (kg/m^3)	1000	998
Viscosité absolue (Pa . s)	$1,57 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité d'un sol saturé (m/s)	$(0,62 \times 10^7)k$	$(0,98 \times 10^7)k$

5.5.4 Types de sol. - Le *Manuel d'introduction Enviroguide* décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les paramètres qui influent sur la migration des fluides.

Valeurs établies pour les sols

Paramètre	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de la migration. - Un nomogramme de la migration du sulfate de zinc dans la couche de sol non saturée (c.-à-d. à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour chaque type de sol mentionné. Chaque nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour un volume donné de fluide déversé au sein d'une colonne de sol d'une superficie donnée. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le fluide après un temps donné doit être considérée comme maximale. Le lecteur trouvera à la figure 13 le plan d'utilisation des nomogrammes présentés aux figures 14 à 16.

5.5.6 Exemple de calcul. - Vingt tonnes de sulfate de zinc se sont répandues sur un sol de sable grossier. L'aire touchée a un rayon de 8,6 m. La température atteint 20 °C. Calculer la hauteur de migration atteinte par le fluide, 4 jours après le moment de l'accident.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

Masse de liquide déversée = 20 000 kg (20 tonnes).

Température = 20 °C.

Rayon de l'aire touchée = 8,6 m.

Type de sol = sable limoneux.

Profondeur de la surface de saturation = 13 m.

Temps écoulé depuis le moment du déversement = 4 jours.

Étape 2 Calculer l'aire touchée par le fluide.

Aire = πr^2 = 232 m^2.

Étape 3 Évaluer la hauteur de migration après 4 jours.

Hauteur de migration = 3,4 m.

(La surface de saturation n'est pas atteinte.)

Figure 13

SULFATE DE ZINC

PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES

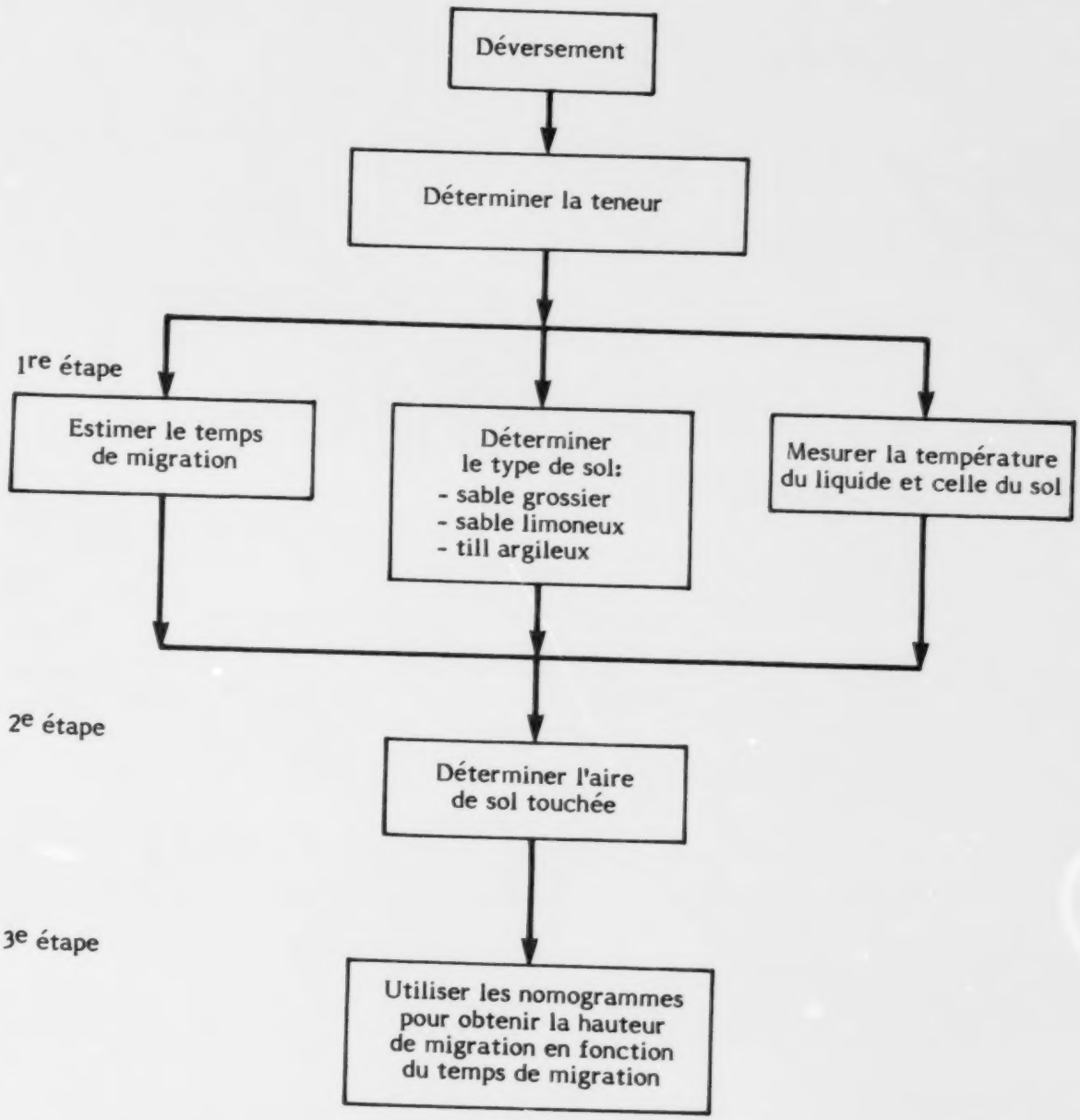


Figure 14

SULFATE DE ZINC — MIGRATION DANS UN SABLE GROSSIER

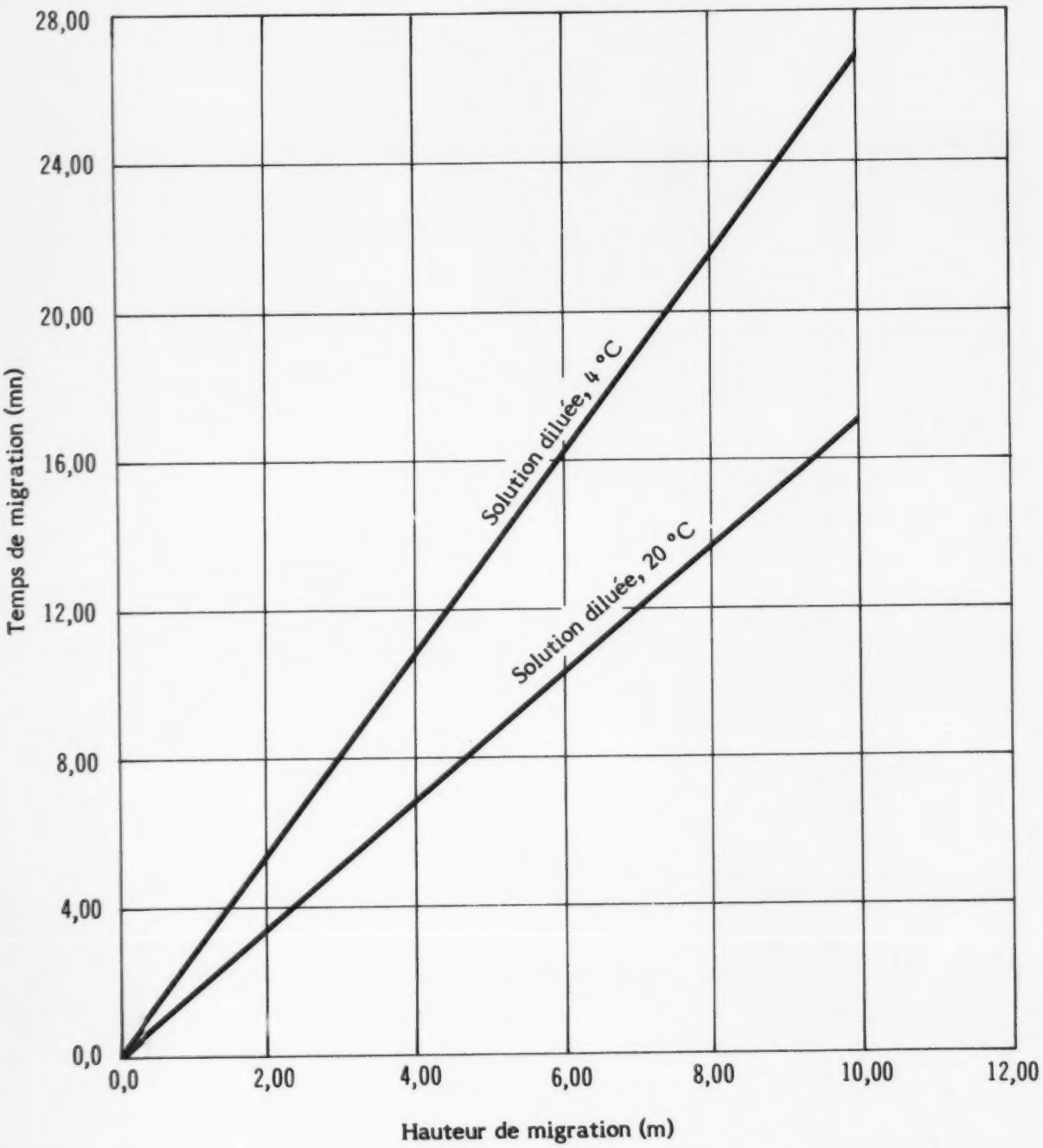


Figure 15

SULFATE DE ZINC

MIGRATION DANS UN SABLE LIMONEUX

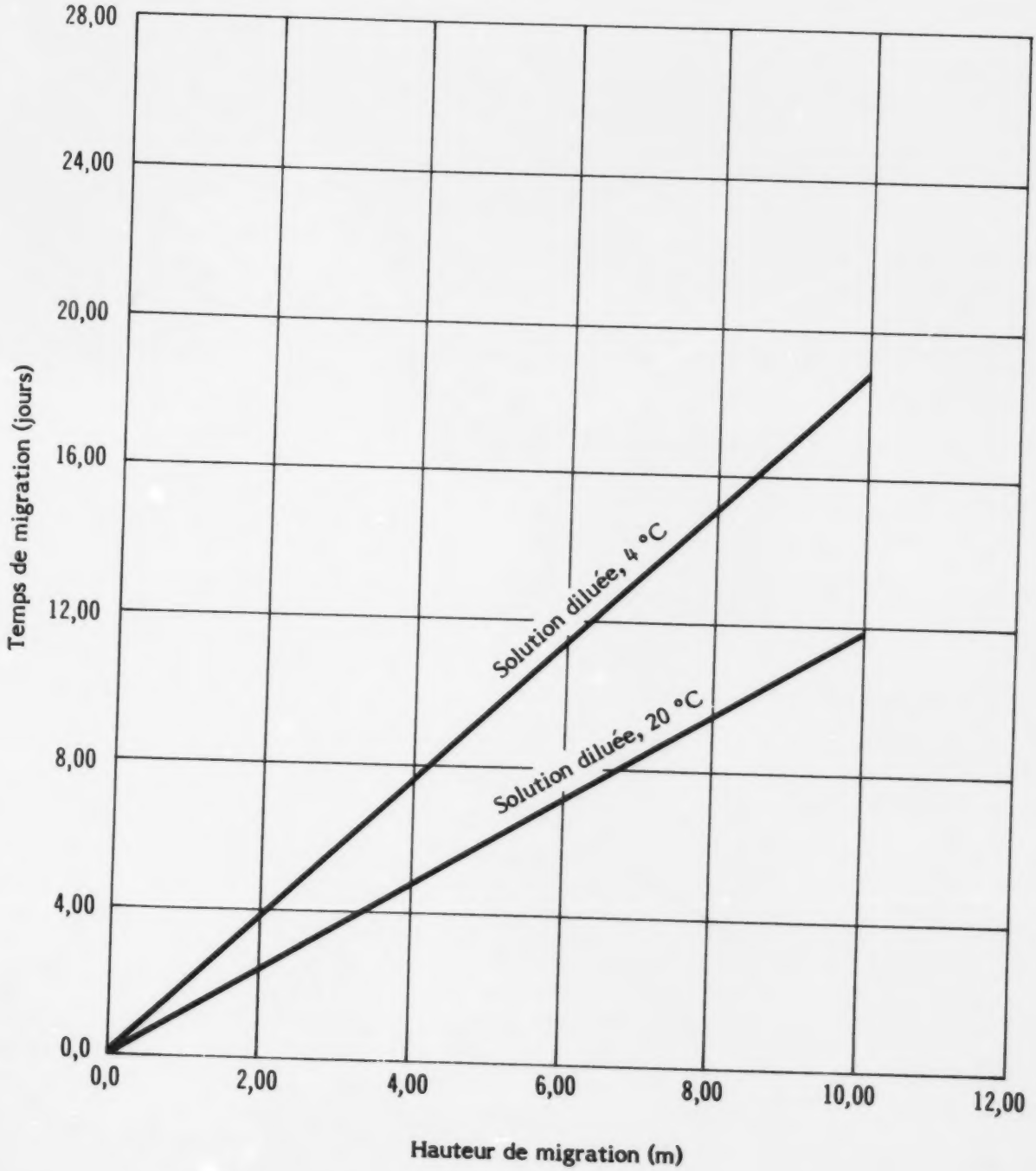
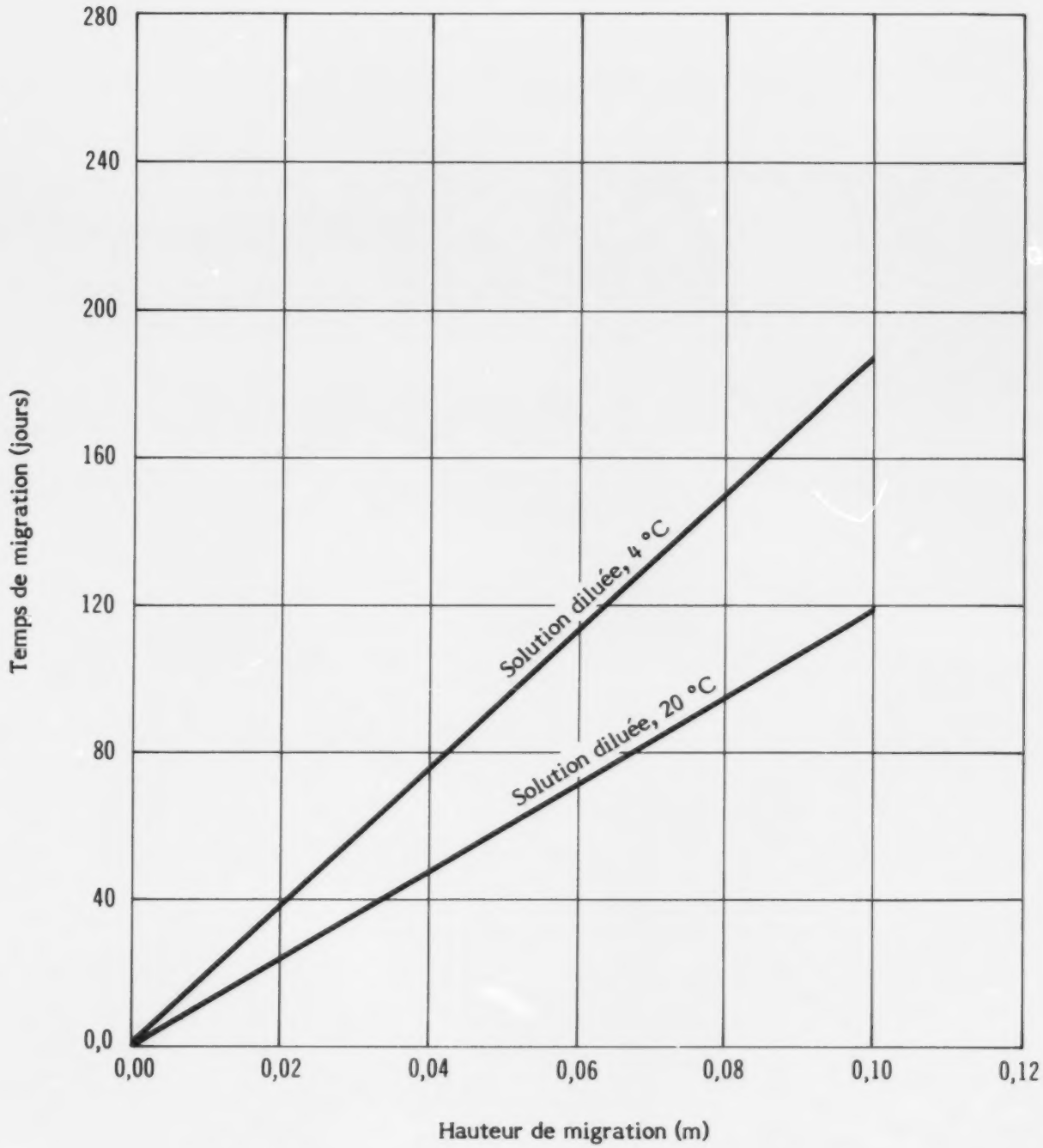


Figure 16

SULFATE DE ZINC

MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau

6.1.1.1 Situation au Canada. - La limite recommandée pour le sulfate dans l'eau potable est de 500 mg/l et l'objectif visé est une teneur inférieure à 150 mg/l. La limite établie pour le zinc dans l'eau potable est de 5,0 mg/l (Directives/canadiennes/eaux, 1978). En Ontario, la limite recommandée pour le sulfate dans l'eau potable est de 250 mg/l (*Water Management Goals*, 1978).

La teneur maximale en zinc recommandée, en ce qui concerne les eaux d'irrigation utilisées régulièrement, pour tous les sols, est de 2,0 mg/l. Pour une utilisation continuelle pendant 20 ans sur des sols de particules fines dont le pH varie de 6 à 8,5, une teneur de 10 mg/l est acceptable (*Water Management Goals*, 1978). La limite supérieure recommandée pour le zinc dans l'eau destinée au bétail est de 25 mg/l (WQC, 1972).

Les recommandations susmentionnées ont été revues; voici les objectifs recommandés actuels (Taylor, 1980).

Utilisation	Objectifs recommandés (zinc total)
Alimentation publique en eaux brutes	5 mg/l 10 mg/l pour les eaux qui seront traitées avant distribution
Vie aquatique et faune	0,05 mg/l, dureté 0-120 mg/l sous forme de $CaCO_3$ 0,10 mg/l, dureté 120-180 mg/l sous forme de $CaCO_3$ 0,20 mg/l, dureté 180-300 mg/l sous forme de $CaCO_3$ 0,30 mg/l, dureté >300 mg/l sous forme de $CaCO_3$
Alimentation en eau des installations agricoles	
Abreuvement (bétail)	50 mg/l
Irrigation	1 mg/l dans les sols dont le pH est inférieur à 6,5 5 mg/l dans les sols dont le pH est supérieur à 6,5
Loisirs et esthétique	5 mg/l
Alimentation en eau des industries	
Préparation des aliments	5 mg/l 10 mg/l pour les eaux qui seront traitées avant distribution

6.1.1.2 Situation dans d'autres pays. - La teneur permise en zinc des eaux de surface servant à l'approvisionnement public en eau potable aux États-Unis est de 5,0 mg/l (WQCDB-2, 1971). La norme pour le sulfate est de 250 mg/l (Jorgensen, 1979). La qualité de l'eau ambiante pour la protection des organismes aquatiques est de 180 µg/l (dureté = 50 mg de $CaCO_3$), de 320 µg/l (dureté = 100) et de 570 µg/l (dureté = 200) (AWQC, 1980).

La limite maximale admissible pour le zinc dans les eaux de surface pour l'approvisionnement public en URSS est de 1,0 mg/l (WQCDB-2, 1971).

La norme de l'Organisation mondiale de la santé pour l'Europe (y compris la France, la Bulgarie et la Suède) est de 250 mg/l pour le sulfate. La limite pour le zinc est établie à 5,0 mg/l (WQCDB-2, 1971; Jorgensen, 1979).

6.1.2 Qualité de l'air. - Au Canada, la limite pour le zinc sous forme libre et combinée (moyenne pour une demi-heure) est établie à 100 g/m^3 (Ontario E.P. Act, 1971).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Situation au Canada. - La teneur en zinc d'un échantillon non filtré ne doit pas dépasser 30 µg/l pour protéger les organismes aquatiques (*Water Management Goals*, 1978).

6.2.2 Situation dans d'autres pays. - Le seuil de toxicité aquatique chronique pour les poissons aux États-Unis a été établie à 0,04 ppm (sous forme de zinc) (Pickering, 1971). Le seuil pour les plantes aquatiques est de 25 ppm (WQC, 1973). Des teneurs en zinc supérieures à 0,1 mg/l constituent un danger pour le milieu marin; des teneurs inférieures à 0,02 mg/l présentent très peu de risque en ce qui a trait aux effets nocifs (WQC, 1972).

6.2.3 Mesures de la toxicité. - Toutes les teneurs ci-dessous sont exprimées sous forme de mg/l d'équivalent de zinc plutôt que d'équivalent de $ZnSO_4$, sauf indication contraire. Il suffit de multiplier par 2,47 pour convertir ces données en mg/l de $ZnSO_4$.

6.2.3.1 Toxicité en eau douce

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
20	24	Dard-perche	Létal		WQCBD-5, 1973
40		Truite arc-en-ciel	Changements dans les tissus des branchies, mort		Skidmore, 1972
0,7	108	Épinoche à trois épines	Létal		WQCDB-3, 1971
6	48	Truitelles	Létal		Wilber, 1969

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
1000	1 à 4	Poisson doré	Létal	Eau dure	Ellis, 1967
16	20	Jeunes anguilles	Létal		WQC, 1963
10,0 à 12,6	120	*Abramis brana*	TL 50	10-13 °C Dureté = 290 pH = 7,2-7,9	Nriagu, 1980
0,34 à 1,6	504	Saumon de l'Atlantique (juvénile)	TL 50	Dureté = 12-24, 10 °C, écoulement	AWQC, 1980; JWPCF, 1980
8,8 à 19,1	24	Crapet arlequin *(Lepomis macrochirus)*	TL 50	Dureté = 40	AWQC, 1980
4	48	Crapet arlequin	TL 50		WQC, 1972
2,35	96	Crapet arlequin	TL 50	Dureté = 45	AWQC, 1980
4,8 à 5,8	96	Crapet arlequin	TL 50	Statique Dureté = 20	AWQC, 1980
9,9 à 12,1	96	Crapet arlequin	TL 50	Écoulement Dureté = 20	AWQC, 1980
11,0	336	Crapet arlequin	TL 50		JWPCF, 1983
7,2 à 12,0	480	Crapet arlequin	TL 50	Dureté = 370	AWQC, 1980
1,8	15, 20	Omble de fontaine *(Salvelinus fontinalis)*, 3-8 g, 8-15 g	TL 50	Écoulement, 15 °C	Sprague, 1968
1,0	42, 54	Omble de fontaine, 3-8 g, 8-15 g	TL 50	Écoulement, 15 °C	Sprague, 1968
0,32	47	Omble de fontaine, 4 g	TL 50	Écoulement, 15 °C	Sprague, 1968
1,0	71,5	Omble de fontaine, 3,2 g	TL 50	Écoulement, 15 °C	Sprague, 1968
2,0	96	Omble de fontaine	TL 50	Dureté = 45,4 pH = 7,0-7,7	Holcombe, 1979
1,5 à 2,1	96	Omble de fontaine	TL 50	Écoulement Dureté = 47	AWQC, 1980
6,1 à 7,0	96	Omble de fontaine	TL 50	Écoulement Dureté = 178, 179	AWQC, 1980

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
0,64	336	Omble de fontaine (juvénile)	TL 50	Eau douce	McKim, 1975
31	48	Barbue de rivière *(Ictalurus punctatus)*	TL 50		JWPCF, 1983
30	96	Barbue de rivière	TL 50		JWPCF, 1983
8,2	336	Barbue de rivière	TL 50		JWPCF, 1983
0,09	96	Truite fardée *(Salmo clarki)*	TL 50	Réaération	AWQC, 1980
0,96	96	Tête-de-boule *(Pimephales promelas)*	TL 50	Eau douce	Pickering, 1971
2,6 à 10	96	Tête-de-boule	TL 50	Écoulement Dureté = 200	AWQC, 1980
12 à 13	96	Tête-de-boule	TL 50	Statique Dureté = 200	AWQC, 1980
12,5 à 13,8	96	Tête-de-boule	TL 50	Écoulement Dureté = 50	AWQC, 1980
18,5 à 25	96	Tête-de-boule	TL 50	Écoulement Dureté = 100	AWQC, 1980
29 à 35,5	96	Tête-de-boule	TL 50	Écoulement Dureté = 200	AWQC, 1980
1,5	96	Fondule juvénile *(Jordanella floridae)*	TL 50	25 °C Dureté = 44 pH = 7,1-7,8	Spehar, 1976
7,7 à 11,4	24	Chatte de l'Est	TL 50	Dureté = 40	AWQC, 1980
24 à 103	24	Poisson doré	TL 50	Dureté = 40	AWQC, 1980
7,5	96	Poisson doré	TL 50	Dureté = 45	AWQC, 1980
6,15	48	Guppy *(Poecilia reticulata)*	TL 50	Statique	JWPCF, 1981
1,3 à 30	96	Guppy	TL 50	Statique Dureté = 20, 45	AWQC, 1980

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
1,5	96	Guppy juvénile	TL 50	Écoulement, 25 °C, dureté = 30, pH = 7,2	JWPCF, 1982
1,7	96	Guppy juvénile	TL 50	Statique, 25 °C, dureté = 30, pH = 7,2	JWPCF, 1982
5,1 à 6,4	96	Guppy	TL 50	Statique, 25 °C	JWPCF, 1982
8,0	336	Achigan à grande bouche	TL 50	Statique, 25 °C	JWPCF, 1983
2,5	120	*Noemacheilus barbatulus*	TL 50	Dureté = 240-290 pH = 7,2-7,8	Nriagu, 1980
16,0	120	Perche *(Perca fluviatilis)*	TL 50	Dureté = 290, 10,4-13,8 °C	Nriagu, 1980
33,3	96	*Puntius conchonius*	TL 50	Statique Dureté = 310, 13-19 °C	JWPCF, 1981
1,24	24	Truite arc-en-ciel *(Salmo gairdnerii)*	TL 50	Dureté = 40	AWQC, 1980
1,24	24	Truite arc-en-ciel	TL 50	Écoulement Dureté = 5,0, 20-25 °C	JWPCF, 1977
2,4 à 5,0	48	Truite arc-en-ciel	TL 50	Dureté = 320	AWQC, 1980
4,0	48	Truite arc-en-ciel	TL 50	Dureté = 240-290 pH = 7,5-7,9	Nriagu, 1980
0,5	64	Truite arc-en-ciel	TL 50		Jones, 1969
0,24 à 0,83	96	Truite arc-en-ciel	TL 50	Écoulement Dureté = 30	AWQC, 1980
2,5 à 2,96	96	Truite arc-en-ciel	TL 50	Écoulement Dureté = 178	AWQC, 1980
7,2	96	Truite	TL 50	Écoulement Dureté = 333	AWQC, 1980
4,6	120	Truite arc-en-ciel	TL 50	Dureté = 290, 14,5-15,8 °C pH = 7,3-7,9	Nriagu, 1980

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
0,56	168	Truite arc-en-ciel	TL 50	Dureté = 15,2	AWQC, 1980
0,5 à 1,0	504	Truite arc-en-ciel	TL 50	Dureté = 14	AWQC, 1980
1,12	672	Truite arc-en-ciel	TL 50		JWPCF, 1983
1,12	2040	Truite arc-en-ciel	Inhibition de la croissance	Écoulement Dureté = 374	JWPCF, 1983
17,3	120	Gardon *(Rutilus rutilus)*	TL 50	Dureté = 290, 10 = 13 °C pH = 7,2-7,9	Nriagu, 1980
1,1	96	Saumon sockeye	TL 50	Eau douce, 12 °C	Chapman
0,3	204	Épinoche	TL 50		Jones, 1969
11,2	24	Bar rayé	TL 50	Rivière Hudson	Rehwoldo
10,0	48	Bar rayé	TL 50	Rivière Hudson	Rehwoldo
6,7	96	Bar rayé	TL 50	Rivière Hudson	Rehwoldo
		Toxicité pour les insectes aquatiques			
180	96	Argia	TL 50	Dureté = 20, 20 °C	Nriagu, 1980
32	264	Phygane	Létal		WQCDB-5, 1973
16	240	Éphémère *(Ephemerella grandis)*	Létal		WQCDB-5, 1973
>9,2	336	Éphémère	TL 50	Dureté = 30-70	AWQC, 1980
0,3	72	Nymphe d'éphémère	Tolérance minimale	Eau du lac Idaho	WQC, 1963
32,6	96	Cloporte	TL 50	Dureté = 100	AWQC, 1978
32	240	Perle *(Acroneuria lycorias)*	TL 50	Dureté = 30-70	AWQC, 1980
36,8	48	*Tanytarsus dissimilus*	TL 50	Statique	JWPCF, 1980

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
		Toxicité pour les plantes dulçaquicoles (grandes espèces)			
67,7	672	Lentille d'eau *(Lemna minor)*	TE 50		AWQC, 1980
22,5	672	*Elodea canadensis*	TL 50		AWQC, 1980
8,1	672	*Elodea canadensis*	TE 50		AWQC, 1980
		Toxicité pour les micro-organismes			
15	168	Algues *(Chlamydomonas* sp.)	TE 50		AWQC, 1980
20	336	Algues *(Scenedesmus quadricauda)*	TE 50		AWQC, 1980
1,0 à 1,4	48 à 96	Algues, vertes	Seuil médian		WQC, 1963
1,4 à 2,3	48 à 96	Bactéries *(E. coli)*	Seuil médian		WQC, 1963
2,62	96	Protozoaire *(Tetrahymena pyriformis)*	TL 50	23-25 °C	Nriagu, 1980
6,67	96	Protozoaire (non précisé)	TL 50	Eau distillée	Carter, 1973
1,2	24	Rotifère *(Philodina acuticornis)*	TL 50	Eau douce, 20 °C	Nriagu, 1980
0,9	48	Rotifère *(Philodina acuticornis)*	TL 50	Eau douce, 20 °C	Nriagu, 1980
0,902	48	Rotifère (non précisé)	TL 50	Dureté = 81	AWQC, 1978
		Toxicité pour les invertébrés			
100	48	Crevette brune	TL 50	15 °C, sombre	Portman, 1970

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
0,5	48	Copépode *(Eudiaptomus padanus)*	TL 50	10 °C, eau de lac sub-alpin	Nriagu, 1980
5,5	48	Copépode *(Cyclops abyssorum)*	TL 50	10 °C, eau de lac sub-alpin	Nriagu, 1980
0,182	48	Copépode (non précisé)	TL 50	Dureté = 23	AWQC, 1978
0,033	48	*Daphnia hyalina*	TL 50	Dureté = 23	AWQC, 1978
0,04	48	*Daphnia hyalina*	TL 50	Eau de lac sub-alpin, 25 °C Dureté = 31	Nriagu, 1980
19	16	*Daphnia magna*	TL 50		Nriagu, 1980
5,3	24	*Daphnia magna*	TL 50	20,5 °C Dureté = 50	Berglind, 1984
3,0	24	*Daphnia magna*	TL 50	20,5 °C Dureté = 250	Berglind, 1984
14,9	24	*Daphnia magna*	TL 50	25 °C Dureté = 31	Nriagu, 1980
0,56 à 2,3	48	*Daphnia magna*	TL 50	Dureté = 45	AWQC, 1980
1,1	48	*Daphnia magna*	TL 50	Dureté = 50	Berglind, 1984
1,7	48	*Daphnia magna*	TL 50	Dureté = 25	Berglind, 1984
10,8	48	*Daphnia magna*	TL 50	20-22 °C Dureté = 5,8	Nriagu, 1980
8,1	72	*Daphnia magna*	TL 50	20-22 °C Dureté = 5,8	Nriagu, 1980
7,4	96	*Daphnia magna*	TL 50	20-22 °C Dureté = 5,8	Nriagu, 1980
0,28 à 1,6	48	*Daphnia pulex*	TL 50	Dureté = 44	AWQC, 1980
0,5	96	*Daphnia pulex*	TL 50	Dureté = 45	AWQC, 1980
14,5	24	Décapode *(Paratya tasmaniensis)*	TL 50	15 °C Dureté = 10	Nriagu, 1980
8,3	48	Décapode *(Paratya tasmaniensis)*	TL 50	15 °C Dureté = 10	Nriagu, 1980
3,3	72	Décapode *(Paratya tasmaniensis)*	TL 50	15 °C Dureté = 10	Nriagu, 1980

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
1,1	96	Décapode *(Paratya tasmaniensis)*	TL 50	15 °C Dureté = 10	Nriagu, 1980
38,5	96	Isopode *(Asellus communis)*	TL 50	20 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
56	96	Isopode *(Asellus communis)*	TL 50	20 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
2,71	24	Mollusque *(Physa heterastropha)*	TL 50	21 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
6,1	48	Mollusque *(Physa heterastropha)*	TL 50	21 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
4,9	72, 96	Mollusque *(Physa heterastropha)*	TL 50	21 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
4,07	24	Mollusque *(Physa heterastropha)*	TL 50	21 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
3,62	48	Mollusque *(Physa heterastropha)*	TL 50	21 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
3,10	72, 96	Mollusque *(Physa heterastropha)*	TL 50	21 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
0,434	24, 48	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	11 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
0,303	72, 96	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	11 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
0,949	24	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	11 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
0,434	48, 72, 96	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	11 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
0,667	24	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	20 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
0,536	48	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	20 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
0,434	72, 96	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	20 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
3,5	24	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	20 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
2,76	48	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	20 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
1,96	72	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	20 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
1,7	96	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	20 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
0,598	24, 48	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	32 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
0,35	72, 96	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	32 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
1,28	24	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	32 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
1,11	48, 72 96	Mollusque *(Physa heterastropha)*, jeunes adultes	TL 50	32 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
18,0	24	Mollusque *(Physa integra)*	TL 50	24 °C	Nriagu, 1980
13,5	48	Mollusque *(Goniobasis emarginata)*	TL 50	Eau de lac aérée	Nriagu, 1980
4,4	24	Mollusque *(Lymnea emarginata)*	TL 50	Eau de lac aérée	Nriagu, 1980
4,15	48	Mollusque *(Lymnea emarginata)*	TL 50	Eau de lac aérée	Nriagu, 1980
11,07	24	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	12,8 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
8,7	48	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	12,8 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
0,96	72	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	12,8 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
0,87	96	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	12,8 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
11,07	24, 48	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	12,8 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
3,03	72, 96	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	12,8 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
12,66	24	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	23 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
1,88	48	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	23 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
1,48	72	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	23 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980
1,27	96	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	23 °C Dureté = 20	Nriagu, 1980

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
5,29	24, 48	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	23 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
1,27	72, 96	Mollusque *(Heliosoma companulata)*	TL 50	23 °C Dureté = 100	Nriagu, 1980
14	96	Escargot, vessie	TL 50		WQC, 1972
13,5	48	Escargot *(Gonobasis livescens)*	TL 50	Dureté = 154	AWQC, 1980
2,3	48	Escargot *(Physa integra)*	TL 50	Dureté = 154	AWQC, 1980
4,15	48	Escargot *(Lymnea sp.)*	TL 50	Dureté = 154	AWQC, 1980
10	96	Ver *(Limnodrilus)*	TL 50	pH = 5,8 à 9,7	Whitley, 1968
0,12	24	Ver *(Tubiflex tubiflex)*	TL 50	20 °C Eau distillée	Nriagu, 1980
0,11	48	Ver *(Tubiflex tubiflex)*	TL 50	20 °C Eau distillée	Nriagu, 1980
4,62	24	Ver *(Tubiflex tubiflex)*	TL 50	20 °C Dureté = 34,2	Nriagu, 1980
2,98	48	Ver *(Tubiflex tubiflex)*	TL 50	20 °C Dureté = 34,2	Nriagu, 1980
75,8	24	Ver *(Tubiflex tubiflex)*	TL 50	20 °C Dureté = 261	Nriagu, 1980
60,2	48	Ver *(Tubiflex tubiflex)*	TL 50	20 °C Dureté = 261	Nriagu, 1980

6.2.3.2 Toxicité en eau salée

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
11,5 à 14,0		*Aldrichetta fosteri*	TL 50	Écoulement	JWPCF, 1977

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
6,0	8	Saumoneau de l'Atlantique *(Salmo salar)*	TL 50	Écoulement Dureté = 14	Carson, 1972
2,313	22	Saumoneau de l'Atlantique *(Salmo salar)*	TL 50	Écoulement Dureté = 14	Carson, 1972
0,812	84	Saumoneau de l'Atlantique *(Salmo salar)*	TL 50	Écoulement Dureté = 14	Carson, 1972
6,0 à 35	48	Éperlan de l'Atlantique	TL 50		AWQC, 1980
60	96	*Fundulus heteroclitus*	TL 50		JWPCF, 1979

Toxicité pour les plantes

Teneur (mg/l)	Espèce	Résultat	Source
0,4	Algues *(Amphidinium carteri)*	Inhibition de la croissance	AWQC, 1980
0,20	Algues *(Phaeodactylum tricornutum)*	Inhibition de la croissance	AWQC, 1980
0,4	Algues *(Thalassiosira pseudonana)*	Inhibition de la croissance	AWQC, 1980
0,25	Varech *(Laminaria digitata)*	Inhibition de la croissance	AWQC, 1980

Toxicité pour les invertébrés

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Source
0,195	240	Palourde américaine *(Mercenaria mercenaria)*, larves	TL 50	AWQC, 1980
7,7	96	Mye *(Mya arenaria)*	TL 50	AWQC, 1980
3,1	168	Mye *(Mya arenaria)*	TL 50	AWQC, 1980
257,5	45	Coque	TL 50	Portman, 1976

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Source
1,45	96	Copépode *(Nitocru spinipes)*	TL 50	AWQC, 1980
0,456	96	Crabe *(Cancer magister)*, larves	TL 50	JWPCF, 1982
14,5	48	Crabe (non précisé)	TE 50	WQC, 1972
0,4	96	Décapode *(Pagurus longicarpus)*	TL 50	AWQC, 1980
50	96	Gastropode *(Nassarius obsoletus)*	TL 50	JWPCF, 1979
10	50	Isopode *(Idotea baltica)*	TL 75	AWQC, 1976
10	72	Isopode *(Jaera albitrons)*	TL 80	AWQC, 1976
0,175	48	Embryons de moules *(Mytilus edulis)*	TE 50	JWPCF, 1982
0,5	48	Larves d'huîtres *(Crassostrea virginica)*	TL 100 TL 100	AWQC, 1980 AWQC, 1980
0,1 à 0,15		Huître du Pacifique	Inhibition de la croissance	Jorgensen, 1979
0,075	192	Huître *(Crassostrea margaritacea)*	Inhibition à 50 p. 100 de la croissance	JWPCF, 1983
0,119	48	Embryons d'huître *(Crassostrea gigas)*	TE 50	JWPCF, 1982
1,8	96	Polychètes *(Neanthes arenaceodentata)*	TL 50	JWPCF, 1979
2,7	96	Polychètes *(Ophrytrocha diadema)*	TL 50	JWPCF, 1979
3,5	96	Polychètes *(Capitella capitata)*	TL 50	JWPCF 1977
7,1	96	Polychète *(Ctenodrilus serratus)*	TL 50	JWPCF, 1979
8,1	96	Polychète *(Nereis virens)*	TL 50	JWPCF, 1979
10,7	96	Polychète *(Capitella capitata)*	TL 50	JWPCF, 1979
1,0	312	Polychète *(Ophrytrocha diadema)*	TL 50	AWQC, 1980
9,5	48	Crevette rose	TL 50	Portman, 1970
2,6	168	Arénicole *(Nereis virens)*	TL 50	AWQC, 1980
39	96	Étoile de mer *(Asterias forbesi)*	TL 50	JWPCF, 1979
110	48	Crevette	TL 50	Portman, 1970

6.2.4 Études sur le milieu aquatique. - La toxicité du sulfate de zinc peut être attribuée à un certain nombre de facteurs physiques et chimiques. Elle augmente (Nriagu, 1980) proportionnellement à la température et à la teneur en autres ions métalliques et inversement proportionnellement au pH, à la dureté de l'eau et à la teneur en oxygène dissous.

On a déjà considéré que le mécanisme de l'action toxique dans l'organisme du poisson d'eau douce se résumait à la destruction de l'épithélium des branchies et à l'hypoxie (manque d'oxygène) qui en résulte. Des études récentes ont toutefois démontré que les tissus métaboliquement actifs affectés par un excès d'ions zinc sont incapables d'utiliser l'oxygène; il n'y a donc plus d'échange gazeux à travers la paroi des lamelles branchiales ni au niveau des tissus internes (Spear, 1981; Skidmore, 1967, Burton, 1972). Une étude a indiqué qu'à long terme les teneurs en glucose plasmique étaient modifiées chez la truite arc-en-ciel (1,12 ppm; 63 jours), ce qui montre que le zinc peut également agir sur des organes comme le foie (Watson, 1971).

La toxicité du sulfate de zinc pour le saumon de l'Atlantique est un peu moindre en présence d'acides humiques qui lient une partie des ions zinc (Carson, 1972; Wildish, 1971). Une étude du cycle vital du tête-de-boule a indiqué que les indicateurs les plus sensibles de la toxicité du zinc étaient l'adhérence et la fragilité de la coquille des oeufs. Ces derniers ont été endommagés à une teneur de 145 µg/l (zinc provenant du sulfate de zinc), mais non à une teneur de 78 µg/l (Benoit, 1978). Une étude de l'absorption de zinc par l'appareil branchial a indiqué une corrélation directe avec la température (Hodson, 1975). Un essai avec guppies, d'une durée de 134 jours, a montré que les plus fortes charges corporelles de zinc apparaissent chez les juvéniles de cinq jours et au début de la grossesse. Cette étude a également indiqué que les femelles transmettaient activement le zinc à leurs embryons. Une exposition à 0,607 mg/l (de zinc) réduisait le poids net de la femelle de 40 p. 100 au cours d'une période de 134 jours. L'indicateur le plus sensible de la toxicité était la maturité sexuelle manifestée par un nombre inférieur de naissances (diminution atteignant 50 p. 100) et le moment de la naissance après la première ponte. Les données donnent à penser qu'il y a au moins deux modes de régulation du zinc chez les poissons (Pierson, 1980).

6.3 Toxicité pour les mammifères et les oiseaux

Le zinc est un élément essentiel de l'alimentation de la volaille et du bétail; à de faibles teneurs, il est relativement non toxique pour les animaux (WQC, 1972). Voici quelques données toxicologiques.

Teneur (mg/l)	Espèce	Résultat	Source
1000	Porc	Non toxique	WQC, 1972

Teneur (mg/l)	Espèce	Résultat	Source
2000	Porc	Toxique	WQC, 1972
2300 mg/l	Poules	Diminution de la production d'oeufs et du poids corporel	WQC, 1972

6.4 Toxicité dans l'air et sur terre

Toxicité pour les végétaux

Teneur du sol ou de l'eau du sol (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Source
0,5	100 jours	Pin Kauri	Diminution de la croissance; symptômes d'intoxication	Jorgensen, 1979
16 à 32		Betterave à sucre	Carence en fer	WQC, 1972
25		Avoine	Toxique	WQC, 1972
0,4		Soya (Pékin)	Létal	WQC, 1972
1,8	40	Mycète	Dose létale 50	Nowasielski, 1971
500		Maïs	Diminution de 42 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Millet	Diminution de 80 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Orge	Diminution de 76 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Blé	Diminution de 45 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Petites fèves	Diminution de 10 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Luzerne	Diminution de 22 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Trèfle	Diminution de 9 p. 100 du rendement	Zinc, 1979

Teneur du sol ou de l'eau du sol (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Source
500		Pois	Diminution de 8 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Laitue	Diminution de 31 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Épinard	Diminution de 32 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Pomme de terre	Aucune diminution	Zinc, 1979
500		Betterave à sucre	Diminution de 40 p. 100 du rendement	Zinc, 1979
500		Tomate	Diminution de 26 p. 100 du rendement	Zinc, 1979

La toxicité du zinc dans le sol est en rapport avec le pH du sol (plus le pH est bas, plus le zinc est toxique); un traitement à la chaux des sols acides réduit considérablement la toxicité du zinc. Il faut une plus forte teneur en zinc pour produire des effets toxiques dans les sols argileux ou tourbeux que dans les sols sableux (WQC, 1972). Une étude a indiqué une réduction de la microflore sur les épines du pin et sur les feuilles du chou traitées au zinc (Gingell, 1976).

Des teneurs supérieures à 20 ppm ont un effet toxique sur les boues activées; des teneurs de 1000 ppm inhibent fortement la digestion des eaux d'égout (Schroeder, 1975).

6.5 Devenir et effets à long terme

6.5.1 Bioconcentration. - Le zinc se concentre dans divers tissus. La bioconcentration du zinc chez diverses espèces marines a été mesurée de la façon suivante (Nriagu, 1980; Spear, 1981).

Bioconcentration chez des espèces marines

Espèce	Facteur de bioconcentration
Algues	530 à 64 000
Crustacés	85 à 1 500 000
Échinodermes	15 à 500
Mollusques	1525 à 4 000 000
Téléostéens	3 à 15 000

On sait que les facteurs de bioconcentration chez les espèces dulçaquicoles sont semblables (Chapman, 1973).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

La documentation ne contient que très peu de données sur la toxicité du sulfate de zinc. Les réactions d'irritation résultant du contact avec la peau ou les yeux de particules solides ou de poussière de sulfate de zinc sont signalées. L'ingestion de faibles doses peut produire de légers malaises gastro-intestinaux; l'ingestion de fortes doses peut causer des corrosions et des perforations des voies gastro-intestinales. On a signalé que ce composé entraînait la formation de néoplasmes chez les lapins et qu'il a des effets tératogènes chez les femelles hamsters pleines. La documentation ne contient aucune donnée relative aux effets mutagènes du sulfate de zinc. Ce produit chimique figure dans l'inventaire TSCA de l'EPA.

Les données toxicologiques sont extraites de sources dignes de confiance. Un certain nombre d'études sur la toxicité du zinc ont été publiées (Nriagu, 1980; Zinc, 1979). Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée à de faibles teneurs, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas toujours dans les cas de déversement. À l'exception des données portant sur la mutagénicité, la tératogénicité et la carnicogénicité, l'interprétation des données relatives à l'homme est étayée par les données d'exposition de courte durée obtenues avec des mammifères autres que l'homme.

7.1 Normes relatives à l'ingestion

L'enquête bibliographique menée par les auteurs n'a révélé l'existence d'aucune norme relative à l'absorption de sulfate de zinc par voie orale.

Toxicité par ingestion pour l'homme

Exposition	Dose	Source
Dose létale probable par voie orale	50 à 500 mg/kg; entre 1 cuillerée à thé et 1 once pour une personne de 70 kg	TDB (on-line), 1981
Dose toxique minimale, effets toxiques généraux et effets sur la tension artérielle	106 mg/kg	RTECS, 1979
Dose toxique minimale, effets sur le tractus digestif	45 mg/kg (7 jours)	TDB (on-line), 1981

7.2 Données sur l'action irritante

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Des travailleurs exposés à des fumées et des poussières de zinc présentes à des teneurs élevées ont souffert de dermatite et de furoncles.	TDB (on-line), 1981; Athanassiadas, 1969
Non précisée	À l'état solide et sous forme de poussière, le produit provoque une irritation au contact de la peau.	CHRIS, 1978

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Forte teneur	Le contact peut entraîner une opacification du cristallin et une réduction de la pression intra-oculaire, ainsi qu'une pigmentation de la surface postérieure de la cornée. Les symptômes ressemblent quelquefois à ceux d'une attaque très aiguë de glaucome à angle fermé.	TDB (on-line), 1981
Non précisée	Des travailleurs exposés à des poussières et des fumées de sulfate de zinc présentes à des teneurs non contrôlées ont souffert de conjonctivites. Ces symptômes ne se sont manifestés qu'après 6 mois d'exposition.	TDB (on-line), 1981
Non précisée	L'exposition aux sels de zinc entraîne généralement une érosion de l'épithélium et l'opacification du stroma de la cornée, quelquefois accompagnés d'une modification du cristallin sous-capsulaire antérieur. Ces effets sont dus à la précipitation des protéines causée par le zinc.	TDB (on-line), 1981

Exposition	Effets	Source
Non précisée	Le produit, à l'état solide ou sous forme de poussières, irrite les yeux.	CHRIS, 1978
• CHEZ LE BÉTAIL		
Solution à 20 p. 100	Appliqué à la cornée de bovidés, le produit n'a que légèrement et lentement affecté la perméabilité de l'épithélium.	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE PORC		
Non précisée	Une expérience avec des yeux de porc énuclés a produit une opacité grisâtre mais non blanche de la cornée.	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE LAPIN		
420 µg	Irritation d'intensité moyenne	RTECS, 1979

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur. - Le sulfate de zinc est inodore (CHRIS, 1978).

7.3.2 Saveur. - Le sulfate de zinc produit une sensation astringente (TDB (on-line), 1981); il a une saveur stypique.

Paramètre	Milieu	Teneur	Source
Seuil de gustation		15 ppm	Patty, 1981
Saveur métallique	Eau	40 ppm	Patty, 1981

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effets	Source
	A. - Toxicité aiguë	
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Inhalé, le produit provoque une toux et rend la respiration difficile.	CHRIS, 1978

Exposition	Effets	Source
	B. - Toxicité chronique	
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	L'exposition à des vapeurs d'acide sulfurique et de sulfate de zinc, au cours de la production de zinc par électrolyse, a provoqué des irritations des voies respiratoires et digestives, ainsi que des dommages aux dents.	TDB (on-line), 1981
Non précisée	Des travailleurs exposés à des teneurs non contrôlées en fumée et en poussière de sulfate de zinc ont souffert de dermatite, de furoncles, de conjonctivite et de troubles gastro-intestinaux. Ces manifestations se sont produites après 6 mois au moins d'exposition.	TDB (on-line), 1981

7.4.2 Ingestion

Exposition	Effets	Source
	A. - Toxicité aiguë	
• CHEZ L'HOMME		
30 g	Décès.	TDB (on-line), 1981
0,6 à 2 g	Préparation émétique. Une surdose peut provoquer une corrosion et une inflammation des muqueuses de la bouche et de l'estomac. Des ulcères peuvent se former dans l'estomac, entraînant souvent une perforation. Sensation de brûlure dans la gorge et l'estomac, vomissements, diarrhée, crampes aux jambes, hypotension et sueurs froides.	TDB (on-line), 1981
50 à 500 mg/kg	Dose létale probable par voie orale (entre 1 cuillerée à thé et 1 once pour un homme de 70 kg).	TDB (on-line), 1981
106 mg/kg	Dose toxique minimale; effets généraux et effets sur la tension artérielle.	TDB (on-line), 1981

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE BÉTAIL		
Non précisée	L'ingestion de fortes doses de sels de zinc a provoqué l'apparition de symptômes généraux d'intoxication par le métal, de violents vomissements, des diarrhées, des maux d'estomac et des collapsus. Le rendement laitier a diminué. Certains animaux sont devenus somnolents et ont souffert de parésie.	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LA POULE		
2230 ppm	Diminution de la consommation d'eau, de la ponte, ainsi que du poids corporel.	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE LAPIN		
2000 mg/m^3	Dose létale minimale.	RTECS, 1979
• CHEZ LE RAT		
2200 mg/m^3	Dose létale minimale.	RTECS, 1979
	B. - Toxicité chronique	
• CHEZ L'HOMME		
45 mg/m^3 (7 j)		
Continue	Dose toxique minimale; effets sur l'appareil digestif.	RTECS, 1979

7.4.3 Tératogénicité et carcinogénicité

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE HAMSTER		
2 mg/kg	Dose toxique minimale; effets tératogènes chez une femelle gestante depuis 8 jours. Administration par voie intraveineuse.	RTECS, 1979
• CHEZ LE LAPIN		
6170 µg/kg (5 j)	Administration par voie sous-cutanée.	RTECS, 1979
Continue	Néoplasmes.	

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante signalés dans la plupart des ouvrages de consultation. Seule la mention des symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle est suivie d'une indication de source.

7.5.1 Inhalation

1. Irritation des muqueuses du nez et de la gorge (CHRIS, 1978)
2. Irritation des voies respiratoires (TDB (on-line), 1981)

7.5.2 Ingestion

1. Sensation de brûlure dans la gorge et l'estomac (TDB (on-line), 1981)
2. Corrosion et inflammation des muqueuses de la bouche et de l'estomac (TDB (on-line), 1981)
3. Vomissements (TDB (on-line), 1981)
4. Diarrhée (TDB (on-line), 1981)
5. Crampes aux jambes (TDB (on-line), 1981)
6. Hypotension (TDB (on-line), 1981)
7. Sueurs froides (TDB (on-line), 1981)
8. Ténesme (TDB (on-line), 1981)
9. Hauts-le-coeur (TDB (on-line), 1981
10. Anurie (TDB (on-line), 1981
11. Hypoglycémie (TDB (on-line), 1981)
12. Lésions hépatiques et rénales (TDB (on-line), 1981)
13. Collapsus et convulsions (TDB (on-line), 1981)
14. Décès

7.5.3 Contact avec la peau

1. Irritation
2. Dermatite (TDB (on-line), 1981)
3. Furoncles (TDB (on-line), 1981)

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Irritation (TDB (on-line), 1981)
2. Conjonctivite (TDB (on-line), 1981)
3. Érosion de l'épithélium (TDB (on-line), 1981)
4. Réduction de la pression intra-oculaire (TDB (on-line), 1981)
5. Glaucome (TDB (on-line), 1981)
6. Pigmentation de la partie postérieure de l'oeil (TDB (on-line), 1981)
7. Opacification du stroma de la cornée (TDB (on-line), 1981)
8. Opacité du cristallin (TDB (on-line), 1981)

7.6 Toxicité pour l'homme des produits de décomposition ou de combustion

À noter 767 °C, le sulfate de zinc se décompose en ZnO (oxyde de zinc) et en SO_3 (trioxyde de soufre) (Partington, 1958). L'oxyde de zinc est une poudre ininflammable blanche (ou blanc jaunâtre) qui se sublime à la pression normale et dont le point de fusion est de 1975 °C. L'inhalation de fumées d'oxyde de zinc peut provoquer la fièvre des fondeurs, dont les symptômes sont notamment la fièvre, des frissons, des douleurs musculaires, des nausées et des vomissements. Cependant, la guérison complète survient après 24 à 48 heures. Les mêmes effets peuvent également être causés par la respiration de poussières fines d'oxyde de zinc (Doc. TLV, 1981). La TLV® des fumées d'oxyde de zinc est de 5 ppm (8 h - MPT) et de 10 ppm (STEL). La poussière d'oxyde de zinc est classée parmi les matières particulaires nuisibles (TLV, 1983).

D'ordinaire, les vapeurs de trioxyde de soufre se convertissent rapidement dans l'air en un brouillard d'acide sulfurique après sa réaction avec l'humidité atmosphérique. L'inhalation du brouillard d'acide sulfurique peut provoquer une irritation pulmonaire, une toux, une bronchoconstriction et une irritation des voies pulmonaires. La TLV® de l'acide sulfurique est de 1 mg/m^3 (TLV, 1983).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre le sulfate de zinc et divers agents

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Groupes de corps														
Eau										•				EPA, 600/2-80-076
Époxydes	•			•									Polymérisation possible	EPA, 600/2-80-076
Explosifs	•		•											EPA, 600/2-80-076
Peroxydes organiques	•				•								Décomposition des peroxydes avec dégagement d'oxyde et de dioxyde de carbone	EPA, 600/2-80-076
Polymères	•			•									Polymérisation possible	EPA, 600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation d'origine a été respectée pour éviter toute déformation de sens; ce faisant, il a été impossible d'empêcher que n'apparaissent des divergences entre les sources d'information. En fait, les divergences au sujet de mesures qui s'appliquent à des cas particuliers ne sont qu'apparentes, l'information pouvant être correcte ou non selon la situation. Le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Danger d'incendie. - Le sulfate de zinc est un produit ininflammable. Il émet des vapeurs toxiques lorsqu'il est chauffé jusqu'à décomposition (OHM-TADS, 1981).

9.1.2 Moyens d'extinction. - Refroidir avec de l'eau pulvérisée les récipients menacés par les flammes. Enlever les récipients de la zone d'incendie si cela ne présente aucun risque (ERG, 1980).

9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.3.1 Information générale. - Arrêter ou ralentir la fuite du produit si cela peut se faire sans risque.

9.1.3.2 Déversement sur le sol. - S'il est déversé sous forme solide, il faut ramasser le produit à la pelle et le stocker dans des récipients adéquats en vue de sa récupération ou son élimination (éviter de soulever de la poussière) (Virginia MSDS).

Lorsque le sulfate de zinc est déversé sous forme de solution, le confiner si possible en construisant des barrages mécaniques pour éviter qu'il ne se répande (EPA 670/2-75-042). Le liquide peut être absorbé par le sable ou toute autre matière absorbante et transféré à la pelle dans des récipients en vue de son élimination (ERG, 1980). De la chaux peut être utilisée comme agent de neutralisation (OHM-TADS, 1981).

9.1.3.3 Déversement dans l'eau. - Confiner la nappe si possible. Il est recommandé d'appliquer une solution à base de sulfure de sodium à la portion solubilisée pour en précipiter le zinc. Il est recommandé d'ajouter un acide dilué ou un acide fort qui peut être ensuite enlevé pour neutraliser la nappe de produit déversé. Utiliser ensuite des dragues mécaniques ou des chariots élévateurs pour ramasser les masses immobilisées de polluants et de précipités (EPA 670/2-75-042). On peut également utiliser un traitement à base de résine échangeuse de cations ou à base de chaux pour éliminer le zinc (OHM-TADS, 1981).

En ce qui a trait à l'épuration des eaux polluées, on recommande une séparation gravitaire des matières solides, suivie d'une précipitation (pH 11) du zinc par mélange avec des quantités égale de carbonate de sodium et de chaux. Les matières solides sont récupérées par décantation et l'eau est neutralisée à pH 7 par de l'acide chlorhydrique avant d'être évacuée. Si nécessaire, l'eau peut passer dans un double milieu filtrant avant la neutralisation par du HCl (EPA 600/2-77-227; Rock, 1971). On a constaté que le sel trisodique de l'acide nitrilotriacétique était un agent séquestrant utile pour protéger l'omble de fontaine contre la toxicité du zinc, élevant jusqu'à 33 fois le seuil normal de toxicité (Sprague, 1968).

9.1.4 Élimination. - Le sulfate de zinc ne doit jamais être déversé directement dans des égouts ni dans des eaux de surface. Le sulfate de zinc récupéré peut être recyclé par le fabricant.

9.1.5 Appareils et vêtements de protection. - Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés ne sont connus, il faut porter un appareil respiratoire isolant autonome et revêtir un scaphandre résistant aux agents chimiques.

- Si le produit déversé est du sulfate de zinc (Virginia MSDS):
- Il faut porter des verres protecteurs et un masque antipoussières;
- Il est recommandé de porter des gants en caoutchouc;
- On doit trouver sur les lieux de l'intervention des bains oculaires automatiques faciles d'accès.

9.1.6 Entreposage. - Il faut entreposer le produit dans un endroit sec. Il faut éviter la chaleur et l'humidité élevées (Virginia MSDS).

10 CAS DE DÉVERSEMENT ACCIDENTEL

10.1 Information générale

L'information relative aux déversements accidentels antérieurs contenue dans le présent chapitre aidera le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversement accidentel. Seuls les cas qui présentent un intérêt pour le lecteur sont présentés; en conséquence, le nombre de cas décrits ne traduit ni l'ampleur du problème ni la fréquence des déversements. Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les éditions ultérieures, au fur et à mesure des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

10.2 Accident de semi-remorque (HMN, 1981)

Une semi-remorque transportant environ 20 tonnes d'engrais à base de sulfate de zinc, emballé dans des sacs de papier, a subi un accident sur une autoroute et a déversé une partie de son chargement. L'équipe d'intervention est arrivée sur les lieux et a recueilli le produit dans des barils à l'aide d'aspirateurs. Les sacs de papier brisés ont été brûlés et la superficie touchée a été lavée avec de l'eau. Des membres de l'équipe d'intervention ont souffert de vomissements, de nausées, de difficultés respiratoires et d'irritations cutanées au cours des opérations de nettoyage.

Bien qu'il soit régulièrement utilisé comme engrais, ce produit peut être dangereux dans des cas d'exposition à des teneurs élevées comme dans les cas de déversement accidentel. Un équipement protecteur doit être utilisé par l'équipe de nettoyage pour réduire les risques d'intoxication. De plus, l'incinération des sacs pollués ne doit se faire qu'après avoir évalué les risques d'une possible pollution de l'air par la poussière, les produits de décomposition et d'autres éléments du mélange.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin; et lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du sulfate de zinc présent dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Spectrophotométrie d'absorption atomique (NIOSH, 1977). - La spectrophotométrie d'absorption atomique permet de doser le sulfate de zinc sous forme de zinc à des teneurs variant de 4,2 à 42 $\mu g/m^3$ (1 à 10 ppb).

Un volume d'air déterminé est passé dans un filtre d'ester cellulosique d'un diamètre de 37 mm, d'une porosité de 0,8 µm, logé dans un porte-cassette à filtre à deux pièces. Il est recommandé de prélever un échantillon de 180 l à un débit de 1,5 l/mn.

L'échantillon filtré est transféré dans un bécher propre de 125 ml, dans lequel on ajoute 6,0 ml d'acide nitrique concentré. Le bécher est recouvert d'un verre de montre et chauffé sous la hotte à 140 °C sur une plaque chauffante. Le tout est chauffé jusqu'à ce que le filtre soit dissout et qu'il y ait une solution légèrement jaune. Une fois la digestion complétée (solution limpide), on enlève le verre de montre et on laisse l'échantillon refroidir. Un ml d'acide nitrique concentré et 3 ml d'eau distillée sont ajoutés au bécher. La solution est transférée quantitativement dans une fiole jaugée de 10 ml et complétée jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

Un volume de 2 ml d'échantillon est aspiré dans la flamme d'un spectrophotomètre d'absorption atomique adéquat équipé de brûleurs air-acétylène et oxyde nitreux/acétylène,

d'une cathode creuse à deutérium, de régulateurs à deux étages pour l'air, l'acétylène et l'oxyde nitreux, ainsi que d'une bande chauffante et d'un rhéostat pour le régulateur d'oxyde nitreux.

On dose le sulfate de zinc en mesurant l'absorption de la solution à 213,9 nm et la teneur est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.2 Identification du sulfate de zinc présent dans l'air (analyse qualitative)

La teneur en sulfate de zinc sous forme de zinc dans l'air peut être mesurée par colorimétrie. L'échantillon est prélevé et digéré (voir 11.1.1). Un volume de cinq gouttes d'échantillon est placé dans une éprouvette et rendu fortement basique par l'addition d'hydroxyde de sodium 2 *M*. Le mélange est ensuite centrifugé et une goutte de surnageant limpide est placée au centre d'un papier au dithizone. Un cercle rouge pourpre formé à la limite de la goutte indique la présence du zinc. Le papier au dithizone est préparé en trempant du papier filtre de type analyse qualitative dans une solution saturée de dithizone dans de l'acétone (Welcher, 1955).

11.3 Dosage du sulfate de zinc présent dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Colorimétrie (ASTM, 1979). - Des teneurs de 0,02 à 5 mg/l (ppm) de sulfate de zinc sous forme de zinc dans l'eau peuvent être mesurées par colorimétrie.

Un volume minimal de 2 l d'un échantillon représentatif est prélevé dans un contenant approprié. Un volume de 50 ml d'un échantillon bien agité est transféré dans un bécher de 250 ml. Un ml d'acide chlorhydrique concentré est ajouté et la solution est portée à ébullition pendant 5 minutes. On laisse ensuite refroidir et une solution d'hydroxyde de sodium (240 g/l) est ajoutée jusqu'à pH 7. La solution est transférée dans une fiole jaugée de 50 ml et complétée jusqu'au trait de jauge avec de l'eau. Une portion de 10 ml de l'échantillon dilué est transférée dans un erlenmeyer de 100 ml. Les réactifs suivants sont ajoutés dans l'ordre et il faut mélanger après chaque addition: 0,5 g d'ascorbate de sodium, 1 ml de solution de cyanure, 5 ml de solution tampon, 3 ml de solution de zincon et 3 ml de solution d'hydrage de chloral.

Ces réactifs sont préparés de la façon suivante: pour le cyanure, dissoudre 1,0 g de cyanure de potassium dans 50 ml d'eau et diluer 100 ml. La fiole contenant cette solution doit être gardée bien fermée et manipulée avec un soin extrême. La solution tampon est préparée en diluant 213 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium à 40 p. 100 poids/vol. dans 600 ml d'eau; 37,3 g de chlorure de potassium et de 31,0 g d'acide borique sont ajoutés et dissous, et l'on porte à 1 litre avec de l'eau. La solution de zincon est préparée en dissolvant 0,260 g de carboxy-2 hydroxy-2' sulfo-5' formazylbenzène dans 100 ml de méthanol, en chauffant à une température inférieure à 50 °C et en agitant jusqu'à dissolution complète. On laisse refroidir la solution qui est ensuite transférée quantitativement dans une fiole jaugée de 200 ml. L'eau des rinçages est versée dans la fiole jaugée.

La solution est complétée jusqu'au trait de jauge avec du méthanol et le tout est transféré dans une bouteille de verre ambré, de préférence réfrigérée. Le coefficient d'absorption de l'échantillon à couleur développée est mesuré par un spectrophotomètre approprié à 620 nm dans des cuves de verre identiques de 1 cm et la teneur de l'échantillon est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.4 Identification du sulfate de zinc présent dans l'eau (analyse qualitative)

La teneur en sulfate de zinc, sous forme de zinc, dans l'eau peut être mesurée par analyse colorimétrique. L'échantillon est prélevé comme en 11.3.1. Un volume de cinq gouttes d'échantillon est placé dans une éprouvette et rendu fortement basique par l'addition d'hydroxyde de sodium 2 *M*. Le mélange est ensuite centrifugé et une goutte de surnageant limpide est placée au centre d'un papier au dithizone. Un cercle rouge pourpre formé sur le contour de la goutte indique la présence de zinc. Le papier dithizone est préparé en trempant un papier filtre de type analyse qualitative dans une solution saturée de dithizone dans de l'acétone (Welcher, 1955).

11.5 Dosage du sulfate de zinc présent dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Spectrophotométrie (Hesse, 1972). - Bien que cette technique soit utilisée particulièrement pour l'analyse du zinc, elle peut également servir pour le sulfate de zinc; elle permet de doser le zinc dans le sol à des teneurs variant de 0 à 100 ppm, une plage qui peut être élargie par la dilution de l'échantillon.

Un échantillon de 1,0 g de 0,15 mm de sol est placé dans un bécher de 250 ml, dans lequel on ajoute 20 ml d'acide nitrique concentré. Le bécher est couvert et chauffé à feu doux. Un volume de 10 ml d'acide perchlorique à 60 p. 100 est ajouté et le mélange est digéré jusqu'à l'apparition de fumées blanches denses. Les parois du bécher sont lavées avec une petite portion d'acide perchlorique à 60 p. 100. Le mélange est digéré pendant 15 minutes pour déshydrater la silice, ensuite refroidi et dilué avec 25 ml d'eau chaude. Le mélange est ensuite filtré sur un papier filtre Whatman 41 et le filtrat est recueilli dans une fiole jaugée de 100 ml. Le résidu de silice est lavé avec de l'acide chlorhydrique 0,5 *M* et la solution de lavage est versée dans la fiole. La solution est complétée jusqu'au trait de jauge avec de l'acide chlorhydrique 0,5 *M*.

Une portion adéquate de la solution digérée est transférée dans un entonnoir à décantation de 125 ml. Un volume de 5 ml d'une solution tampon de citrate d'ammonium, préparé en dissolvant 225 g de citrate d'ammonium dans 1 litre d'eau, est ensuite ajouté. Le pH de la solution tampon est ajusté à 8,5 avec 40 ml d'une solution concentrée d'hydroxyde d'ammonium. Le mélange est extrait par des portions de 20 ml de dithizone dans du tétrachlorure de carbone.

Le dithizone dans le tétrachlorure de carbone est préparé en dissolvant 0,25 g de diphénylthiocarbazone dans 1 l de tétrachlorure de carbone pur. Un volume de 2 ml du mélange est agité pendant 5 minutes. La couche de tétrachlorure de carbone est enlevée et la solution est extraite par des portions de 50 ml de tétrachlorure de carbone pur jusqu'à ce que l'extrait soit d'un vert limpide.

On ajoute 500 ml de tétrachlorure de carbone et 50 ml d'acide chlorhydrique 1 *M* et le mélange est agité. La couche aqueuse est enlevée et la couche organique est diluée jusqu'à 2 l. Un volume de 25 ml d'eau partiellement saturé de dioxyde de soufre est ajouté. La dithizone préparé dans du tétrachlorure de carbone est gardé dans une bouteille de verre ambré.

La préparation de la solution tampon de citrate d'ammonium se poursuit de la façon suivante. La solution tampon au pH ajusté est extraite par d'autres portions de 20 ml de dithizone dans du tétrachlorure de carbone jusqu'à ce que la couche organique demeure verte et la phase aqueuse, orangée.

La phase aqueuse est extraite par du tétrachlorure de carbone pur; un volume adéquat d'hydroxyde d'ammonium est utilisé pour ajuster le pH à 2,5.

Le traitement de l'échantillon (digéré) se poursuit de la façon suivante. De l'hydroxyde d'ammonium (0,1 ml) est ajouté pour obtenir un pH de 2,5. Trois gouttes d'indicateur bleu de bromophymol et 5 ml d'une solution de dithizone sont ensuite ajoutés et le mélange est agité pendant 5 minutes. La couche aqueuse est versée dans une ampoule à décantation propre de 125 ml. L'échantillon est extrait à nouveau et les deux extraits sont combinés. Les couches de tétrachlorure de carbone sont éliminées.

Un volume de 5 ml d'une solution tampon de citrate d'ammonium est ajouté aux extraits aqueux combinés et le pH est ajusté à 8,3 avec un solution d'hydroxyde d'ammonium 0,1 *M* à l'aide d'indicateur phénolphtaléine. Le zinc est extrait par 2 portions de 10 ml d'une solution de dithizone. La couche aqueuse devient orangée lorsque tout le zinc a été extrait.

La phase aqueuse est extraite une autre fois par du tétrachlorure de carbone pur. Les couches organiques combinées sont versées dans une ampoule à décantation propre de 125 ml et agitées pendant deux minutes avec 50 ml d'acide chlorhyrique 0,02 *M*. La couche organique est éliminée et la couche aqueuse est lavée avec une portion de 10 ml de tétrachlorure de carbone pur.

Un volume de 5 ml de solution tampon de citrate est ajouté et le pH est ajusté à 8,3 avec de l'hydroxyde d'ammonium 0,1 *M*; puis, 10 ml d'une solution de dithizone et 10 ml d'une solution de carbonate sont ajoutés, et le mélange est agité pendant deux minutes.

La solution de carbonate est préparée en dissolvant 0,2 g de diéthyldithiocarbonate de sodium dans 100 ml d'eau et en filtrant le tout dans une ampoule à décantation. La solution est agitée avec 5 ml de tétrachlorure de carbone pur pour éliminer tout le cuivre présent. La couche aqueuse est conservée dans une bouteille foncée.

Le traitement de l'échantillon se poursuit de la façon suivante. La couche organique est transférée dans une ampoule à décantation propre de 125 ml, et agitée avec 25 ml d'une solution d'hydroxyde d'ammonium 0,01 *M*. Un volume de 5 ml de la couche organique contenant le complexe dithizonate de zinc est placé dans une cuve de verre compatible de 1 cm et le coefficient d'absorption est mesuré à 535 nm à l'aide d'un spectrophotomètre adéquat; la teneur de l'échantillon est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.6 Identification du sulfate de zinc présent dans le sol (analyse qualitative)

La présence de sulfate de zinc peut être décelée dans le sol à l'état de sulfate. L'échantillon est prélevé comme en 11.5.1 et extrait par une solution de chlorure de lithium 0,001 *M*, centrifugé et filtré. Un volume de 1 ml d'échantillon est acidifié par de l'acide chlorhydrique 6 *M*, puis on ajoute 1 ml de solution de chlorure de baryum 1 *M*. Un précipité blanc finement granulé indique la présence de l'ion sulfate (Welcher, 1955).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE
(Reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

ACS 1972: The American Chemical Society, Data on Inorganic Chemicals, Washington, DC. (1972).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D1691-A, D1192, D3370 (1979).

Athanassiadias 1969: Athanassiadias, Y.C., Air Pollution Aspects of Zinc and Its Compounds, Litton Systems Inc. for U.S. Department of Health, Education and Welfare, Washington, DC (1969).

AWQC 1980: Ambient Water Quality Criteria for Zinc, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, PB-81117897 (1980).

AWQC 1978: Ambient Water Quality Criteria for Zinc, U.S. Environmental Protection Agency, EPA Criteria Standards Division, Washington, DC, PB-296-807 (1978).

Bailar 1973: Bailar, J.C., H.J. Emeleus, R. Nyholm, and A.F. Trotman-Dickenson, (eds.) Comprehensive Inorganic Chemistry, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom (1973).

Benoit 1978: Benoit, D.A. and G.W. Holcombe, "Toxic Effects of Zinc on Fathead Minnows, *Pimephales promelas* in Soft Water", J. Fish Biol., 13, pp. 701-708 (1978).

Berglind 1984: Berglind, R. and G. Dave, "Acute Toxicity of Chromate, DDT, PCP, TPBS and Zinc to *Daphnia magna* Cultured in Hard and Soft Water", Bull. Environ. Contam. Toxicol., 33, pp. 63-68 (1984).

Burton 1972: Burton, D.T., A.H. Jones and J. Cains, "Acute Zinc Toxicity to Rainbow Trout (*Salmo gairdnerii*): Confirmation of the Hypothesis that Death is Related to Tissue Hypoxia", J. Fish. Res. Board Can., 29, pp. 1463-1466 (1972).

Carson 1972: Carson, W.G. and W.V. Carson, Toxicity of Copper and Zinc to Juvenile Atlantic Salmon in The Presence of Humic Acid and Lignosulfonates, Fisheries Research Board of Canada, Biological Station, St. Andrews, New Brunswick, Manuscript Report Series No. 1181 (1972).

Carter 1973: Carter, J.W., and I.L. Cameron, "Toxicity Bioassay of Heavy Metals in Water Using *Tetrahymena pyriformis*", Water Research, 7, pp. 951-961 (1973).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (October, 1981).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

Chapman 1973: Chapman, G., "Effect of Heavy Metals on Fish", Proceedings of the Heavy Metals in the Environment Seminar, Oregon State University, Corvallis, OR (January, 1973).

Chapman: Chapman, W.H., M.L. Fisher and M.W. Pratt, "Concentration Factors of Chemical Elements in Edible Aquatic Organisms", UCRL-505 (not dated).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Corpus 1980: Corpus Information Services Ltd., "Zinc Sulphate", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (December, 1980).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Ellis 1967: Ellis, M.M., "Detection and Measurement of Stream Pollution", Biology of Water Pollution, (FWPCA), 129, p. 185 (1967).

EPA 530/SW-104c: Shaver, R.G. et al., Assessment of Industrial Hazardous Waste Practices: Inorganic Chemical Industry, Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste Management Programs, Washington, DC, EPA 530/SW-104c (1975).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227 (November, 1977).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Gingell 1976: Gingell, S.M., R. Campbell and M.M. Martin, "The Effects of Zinc, Lead and Cadmium Pollution on the Leaf Surface Microflora", Environ. Pollut., 11, pp. 25-36 (1976).

GPP: Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

* Guidelines/Canadian/Water 1978: Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada (1978).

Herbert 1964: Herbert, D.W.M. and A.C. Wakeford, "The Susceptibility of Salmonid Fish to Poisons Under Estuarine Conditions, Zinc Sulphate", International Journal of Air and Water Pollution, 8, pp. 251-256 (1964).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, pp. 399, 431 (1972).

HIS 1969: Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th edition, New York, NY (1969).

HMN 1981: Hazardous Materials Newsletter, Barre, VT, p. 5 (April 1, 1981).

Hodson 1975: Hodson, P.V., "Zinc Uptake by Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Exposed to A Lethal Concentration of Zinc at 3, 11, and 19°C", J. Fish. Res. Board Can., 32, No. 12, pp. 2552-2556 (1975).

Holcombe 1979: Holcombe, G.W., D.A. Benoit, and E.N. Leonard, "Long-term Effects of Zinc Exposures on Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*)", Trans. American Fisheries Soc., 108, pp. 76-87 (1979).

Jensen 1974: Jensen, A. et al., "Heavy Metal Tolerance of Marine Phytoplankton. I. The Tolerance of Three Algal Species to Zinc in Coastal Seawater", J. Experimental Marine Biology and Ecology, 15, p. 145 (1974).

Jones 1969: Jones, J.R.E., Fish and River Pollution, Butterworths, London (1969).

Jorgensen 1979: Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, International Society for Ecological Modelling, Pergamon Press, Oxford, England, pp. 557, 584 (1979).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

JWPCF 1983: Journal of the Water Pollution Control Federation, 55, No. 6, p. 778 (1983).

JWPCF 1982: Journal of the Water Pollution Control Federation, 54, No. 6, pp. 802-898 (1982).

JWPCF 1981: Journal of the Water Pollution Control Federation, 53, No. 6, pp. 1011-1047 (1981).

JWPCF 1980: Journal of the Water Pollution Control Federation, 52, No. 6, pp. 1720-1721 (1980).

JWPCF 1979: Journal of the Water Pollution Control Federation, 51, No. 6, p. 1498 (1979).

* Publié également en français.

JWPCF 1978: Journal of the Water Pollution Control Federation, 50, No. 6, p. 1616 (1978).

JWPCF 1977: Journal of the Water Pollution Control Federation, 49, No. 6, pp. 1325-1461 (1977).

Kirk-Othmer 1984: Kirk-Othmer Encyclopedia of Technology, 24, John Wiley and Sons, New York (1984).

Klein 1957: Klein, L., Aspects of River Pollution, Academic Press Inc., New York (1957).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

McKim 1975: McKim, J.M. et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", J. Water Pollut. Control Fed., Annual Literature Review, 47, No. 6 (June, 1975).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 1, Cincinnati, OH, P&CAM 173 (April, 1977).

Nowasielski 1971: Nowasielski, O., B.O. Knezek and B.G. Ellis, "Evaluation of Toxicity of Metals, NTA, and EDTA by *Aspergillus niger*", presented before Water, Air and Waste Chemistry Division, American Chemical Society, Washington, DC. (September, 1971).

Nriagu 1980: Nriagu, J.O. (ed.), Zinc in the Environment, John Wiley and Sons, New York, NY (1980).

Oceanology 1970: Oceanology International (October, 1970).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Partington 1958: Partington, J.R., General and Inorganic Chemistry, third edition, MacMillan and Co. Ltd., London (1958).

Patty 1981: Clayton, G.D. and F.E. Clayton, (eds.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, third revised edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario (1981).

Perry 1973: Perry, R.H. and C.H. Chilton, (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Pickering 1971: Pickering, Q.H., "Chronic Toxicity of Heavy Metals to Fish with Special Reference to Nickel", presented at the 44th Water Pollution Control Federation Conference, San Francisco (October 3-8, 1971).

Pierson 1980: Pierson, K.B., "Effects of Chronic Zinc Exposure on the Growth, Sexual Maturity, Reproduction and Bioaccumulation of the Guppy (*Poecilia reticulata*)", Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38, pp. 23-31 (1980).

Portman 1970: Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (September, 1970).

Rehwoldo: Rehwoldo, R. et al., "Acute Toxicity of Copper, Nickel and Zinc Ions to Some Hudson River Fish Species", Journal at Battelle-Northwest Laboratories (not dated).

Rock 1971: Rock, D.M. and G. Allman, Zinc Precipitation and Recovery from Viscose Rayon Wastewater, American ENCA Company for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, PB-205205 (1971).

* RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Schroeder 1975: Schroeder, E.D., "Activated Sludge", J. Water Pollut. Control Fed., 47, No. 6 (June, 1975).

Skidmore 1967: Skidmore, J.F., "Oxygen Uptake by Zebra Fish (*Brachydanio rerio*) of Different Ages in Relation to Zinc Sulphate Resistance", J. Fish. Res. Board Canada, 24, No. 6, pp. 1253-1266 (1967).

Skidmore 1972: Skidmore, J.F. and P.W.A. Tovell, "Toxic Effects of Zinc Sulphate on Gills of Rainbow Trout", Water Resources, 6, No. 3, pp. 217-230 (1972).

* Spear 1981: Spear, P.A., Zinc in the Aquatic Environment: Chemistry, Distribution and Toxicology, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, NRCC No. 17589 (1981).

Spehar 1981: Spehar, R.L. et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", J. Water Pollut. Control Fed., 53, No. 6, pp. 1028-1076 (June, 1981).

Spehar 1976: Spehar, R.L., "Cadmium and Zinc Toxicity to Flagfish, *Jordanella floridae*", J. Fish. Res. Board Can., 33, pp. 1939-1949 (1976).

Sprague 1968: Sprague, J.B., W.G. Carson, and W.P. Vass, NTA and Other Sequestrants to Protect Salmonid Fish from Copper and Zinc in Freshwater, Fisheries Research Board of Canada, St. Andrews, New Brunswick, Manuscript Report Series No. 992 (1968).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

* Taylor 1980: Taylor, M.C. and A. Demayo, Guidelines for Surface Water Quality Vol. 1, Inorganic Chemical Substances Zinc, Environment Canada, Ottawa, Ontario (1980).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

---

* Publié également en français.

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Virginia Bul. 802: Virginia Chemicals Inc., Zinc Sulphate (Monohydrate), Bulletin 802, second revision edition (not dated).

Virginia Bul. 807B: Virginia Chemicals Inc., Zinc Sulphate (Fertilizer Solution), Bulletin 807B (not dated).

Virginia Chemicals: Virginia Chemicals Inc., Zinc Sulphate (Monohydrate): Replenishing Zinc Deficiencies in Plants, Bulletin 807, Chesapeake, VA (not dated).

Virginia MSDS: Virginia Chemicals Inc., Material Safety Data Sheet, Zinc Sulphate, Bulletin 807B, Portsmouth, VA, Label Code: 15-105-878 (not dated).

Virginia TD: Virginia Chemicals Inc., Technical Data, Portsmouth, VA (not dated).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario, pp. 39, 52, 61 (November, 1978).

Watson 1976: Watson, T.A. and B.A. McKeown, "The Effect of Sublethal Concentrations of Zinc on Growth and Plasma Glucose Levels in Rainbow Trout, *Salmon gairdnerii* (Richardson)", J. Wildlife Diseases, 12, pp. 263-269 (1976).

Welcher 1955: Welcher, F.J. and R.B. Hahn, Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, pp. 436, 456-457 (1955).

Wilber 1969: Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas, Springfield, IL (1969).

Wildish 1971: Wildish, D.J., W.G. Carson and W.V. Carson, The Effect of Humic Substances on Copper and Zinc Toxicity to Salmon *S. salar*, Fisheries Research Board of Canada, St. Andrews, New Brunswick, Manuscript Report Series No. 1160 (1971).

WQC 1963: McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

WQC 1972: National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972: A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, pp. 257, 316, 317, 345, 459-468, 477-482 (1972).

* Publié également en français.

WQCDB-2 1971: Water Quality Criteria Data Book: Inorganic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 2, pp. 236-239 (1971).

WQCDB-3 1971: Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 3, pp. A-164-166 (May, 1971).

WQCDB-5 1973: Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 5, pp. A-452-453 (September, 1973).

Zinc 1979: Zinc, Committee on Medical and Biological Effects of Environmental Pollutants, National Research Council, Washington, DC, printed by University Park Press, Baltimore, MD (1979).

12.2 Bibliographie

Ambient Water Quality Criteria for Zinc, U.S. Environmental Protection Agency, EPA Criteria Standards Division, Washington, DC, PB-296-807 (1978).

Ambient Water Quality Criteria for Zinc, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, PB-81117897 (1980).

The American Chemical Society, Data on Inorganic Chemicals, Washington, DC (1972).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D1691-A, D1192, D3370 (1979).

Athanassiadias, Y.C., Air Pollution Aspects of Zinc and Its Compounds, Litton Systems Inc. for U.S. Department of Health, Education and Welfare, Washington, DC (1969).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

Bailar, J.C., H.J. Emeleus, R. Nyholm, and A.F. Trotman-Dickenson, (eds.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom (1973).

Benoit, D.A. and G.W. Holcombe, "Toxic Effects of Zinc on Fathead Minnows, *Pimephales promelas* in Soft Water", J. Fish Biol., 13, pp. 701-708 (1978).

Berglind, R. and G. Dave, "Acute Toxicity of Chromate, DDT, PCP, TPBS and Zinc to *Daphnia magna* Cultured in Hard and Soft Water", Bull. Environ. Contam. Toxicol., 33, pp. 63-68 (1984).

Burton, D.T., A.H. Jones, and J. Cains, "Acute Zinc Toxicity to Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*): Confirmation of the Hypothesis that Death is Related to Tissue Hypoxia", J. Fish. Res. Board Can., 29, pp. 1463-1466 (1972).

The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (October, 1981).

* Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

Carson, W.G. and W.V. Carson, Toxicity of Copper and Zinc to Juvenile Atlantic Salmon in The Presence of Humic Acid and Lignosulfonates, Fisheries Research Board of Canada, Biological Station, St. Andrews, New Brunswick, Manuscript Report Series No. 1181 (1972).

Carter, J.W. and I.L. Cameron, "Toxicity Bioassay of Heavy Metals in Water Using *Tetrahymena pyriformis*", Water Research, 7, pp. 951-961 (1973).

Chapman, G., "Effect of Heavy Metals on Fish", Proceedings of the Heavy Metals in the Environment Seminar, Oregon State University, Corvallis, OR (January, 1973).

Chapman, W.H., M.L. Fisher, and M.W. Pratt, "Concentration Factors of Chemical Elements in Edible Aquatic Organisms", UCRL-505 (not dated).

Clayton, G.D. and F.E. Clayton, (eds.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Zinc Sulphate", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (December, 1980).

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Ellis, M.M., "Detection and Measurement of Stream Pollution", Biology of Water Pollution, (FWPCA), 129, p. 185 (1967).

* Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada (1978).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Gingell, S.M., R. Campbell, and M.M. Martin, "The Effects of Zinc, Lead and Cadmium Pollution on the Leaf Surface Microflora", Environ. Pollut., 11, pp. 25-36 (1976).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

* Publié également en français.

Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens, and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

Hazardous Materials Newsletter, Barre, VT, p. 5 (April 1, 1981).

Herbert, D.W.M. and A.C. Wakeford, "The Susceptibility of Salmonid Fish to Poisons Under Estuarine Conditions, Zinc Sulphate", International Journal of Air and Water Pollution, 8, pp. 251-256 (1964).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, pp. 399, 431 (1972).

Hodson, P.V., "Zinc Uptake by Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Exposed to A Lethal Concentration of Zinc at 3, 11, and 19°C", J. Fish Res. Board Can., 32, No. 12, pp. 2552-2556 (1975).

Holcombe, G.W., D.A. Benoit, and E.N. Leonard, "Long-term Effects of Zinc Exposures on Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*)", Trans. American Fisheries Soc., 108, pp. 76-87 (1979).

Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227 (November, 1977).

Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th edition, New York, NY (1969).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Jensen, A. et al., "Heavy Metal Tolerance of Marine Phytoplankton. I. The Tolerance of Three Algal Species to Zinc in Coastal Seawater", J. Experimental Marine Biology and Ecology, 15, p. 145 (1974).

Jones, J.R.E., Fish and River Pollution, Butterworths, London (1969).

Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, International Society for Ecological Modelling, Pergamon Press, Oxford, England, pp. 557, 584 (1979).

Journal of the Water Pollution Control Federation, 55, No. 6, p. 778 (1983).

Journal of the Water Pollution Control Federation, 54, No. 6, pp. 802-898 (1982).

Journal of the Water Pollution Control Federation, 53, No. 6, pp. 1011-1047 (1981).

Journal of the Water Pollution Control Federation, 52, No. 6, pp. 1720-1721 (1980).

Journal of the Water Pollution Control Federation, 51, No. 6, p. 1498 (1979).

Journal of the Water Pollution Control Federation, 50, No. 6, p. 1616 (1978).

Journal of the Water Pollution Control Federation, 49, No. 6, pp. 1325-1461 (1977).

Kirk-Othmer Encyclopedia of Technology, 24, John Wiley and Sons, New York (1984).

Klein, L., Aspects of River Pollution, Academic Press Inc., New York (1957).

Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

McKee, J.E. and H.W. Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

McKim, J.M. et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", J. Water Pollut. Control Fed., Annual Literature Review, 47, No. 6 (June, 1975).

National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972, A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, pp. 257, 316, 317, 345, 459-468, 477-482 (1972).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 1, Cincinnati, OH, P&CAM 173 (April, 1977).

Nowasielski, O., B.O. Knezek, and B.G. Ellis, "Evaluation of Toxicity of Metals, NTA, and EDTA by *Aspergillus niger*", presented before Water, Air and Waste Chemistry Division, American Chemical Society, Washington, DC (September, 1971).

Nriagu, J.O. (ed.), Zinc in the Environment, John Wiley and Sons, New York, NY (1980).

Oceanology International (October, 1970).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario, pp. 39, 52, 61 (November, 1978).

Partington, J.R., General and Inorganic Chemistry, Third Edition, MacMillan and Co. Ltd., London (1958).

Perry, R.H. and C.H. Chilton, (ed.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Pickering, Q.H., "Chronic Toxicity of Heavy Metals to Fish with Special Reference to Nickel", presented at the 44th Water Pollution Control Federation Conference, San Francisco (October 3-8, 1971).

Pierson, K.B., "Effects of Chronic Zinc Exposure on the Growth, Sexual Maturity, Reproduction and Bioaccumulation of the Guppy (*Poecilia reticulata*)", Can. J. Fish. Aquat. Sci., 38, pp. 23-31 (1980).

Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (September, 1970).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

Rehwoldo, R. et al., "Acute Toxicity of Copper, Nickel and Zinc Ions to Some Hudson River Fish Species", Journal at Battelle-Northwest Laboratories (not dated).

Rock, D.M. and G. Allam, Zinc Precipitation and Recovery from Viscose Rayon Wastewater, American ENCA Company for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, PB-205205 (1971).

Schroeder, E.D., "Activated Sludge", J. Water Pollut. Control Fed., 47, No. 6 (June, 1975).

Shaver, R.G. et al., Assessment of Industrial Hazardous Waste Practices: Inorganic Chemical Industry, Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste Management Programs, Washington, DC, EPA 530/SW-104c (1975).

Skidmore, J.F., "Oxygen Uptake by Zebra Fish (*Brachydanio rerio*) of Different Ages in Relation to Zinc Sulphate Resistance", J. Fish. Res. Board Canada, 24, No. 6, pp. 1253-1266 (1967).

Skidmore, J.F. and P.W.A. Tovell, "Toxic Effects of Zinc Sulphate on Gills of Rainbow Trout", Water Resources, 6, No. 3, pp. 217-230 (1972).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, 64, No. 9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

Spear, P.A., Zinc in the Aquatic Environment: Chemistry, Distribution and Toxicology, National Research Council Canada, Ottawa, Ontario, NRCC No. 17589 (1981).

Spehar, R.L., "Cadmium and Zinc Toxicity to Flagfish, *Jordanella floridae*", J. Fish. Res. Board Can., 33, pp. 1939-1949 (1976).

Spehar, R.L. et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", J. Water Pollut. Control Fed., 53, No. 6, pp. 1028-1076 (June, 1981).

Sprague, J.B., W.G. Carson and W.P. Vass, NTA and Other Sequestrants to Protect Salmonid Fish from Copper and Zinc in Freshwater, Fisheries Research Board of Canada, St. Andrews, New Brunswick, Manuscript Report Series No. 992 (1968).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

* Taylor, M.C. and A. Demayo, Guidelines for Surface Water Quality Vol. 1, Inorganic Chemical Substances Zinc, Environment Canada, Ottawa, Ontario (1980).

---

* Publié également en français.

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Virginia Chemicals Inc., Zinc Sulphate (Monohydrate), Bulletin 802, second revised edition (not dated).

Virginia Chemicals Inc., Zinc Sulphate (Fertilizer Solution), Bulletin 807B (not dated).

Virginia Chemicals Inc., Material Safety Data Sheet, Zinc Sulphate, Bulletin 807B, Portsmouth, VA, Label Code: 15-105-878 (not dated).

Virginia Chemicals Inc., Technical Data, Portsmouth, VA (not dated).

Virginia Chemicals Inc., Zinc Sulphate (Monohydrate): Replenishing Zinc Deficiencies in Plants, Bulletin 807, Chesapeake, VA (not dated).

Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 3, pp. A-164-166 (May, 1971).

Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 5, pp. A-452-453 (September, 1973).

Water Quality Criteria Data Book: Inorganic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC, Vol. 2, pp. 236-239 (1971).

Watson, T.A. and B.A. McKeown, "The Effect of Sublethal Concentrations of Zinc on Growth and Plasma Glucose Levels in Rainbow Trout, *Salmon gairdneri* (Richardson)", J. Wildlife Diseases, 12, pp. 263-269 (1976).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

Welcher, F.J. and R.B. Hahn, Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, pp. 436, 456-457 (1955).

* Publié également en français.

Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas, Springfield, IL (1969).

Wildish, D.J., W.G. Carson, and W.V. Carson, The Effect of Humic Substances on Copper and Zinc Toxicity to Salmon *S. salar*, Fisheries Research Board of Canada, St. Andrews, New Brunswick, Manuscript Report Series No. 1160 (1971).

Zinc, Committee on Medical and Biological Effects of Environmental Pollutants, National Research Council, Washington, DC, printed by University Park Press, Baltimore, MD (1979).